

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

**Dispositivo para apoio a alimentação de pessoas com
limitações motora fina implementado com técnicas de
estabilização mecânica.**

Trabalho de Conclusão de Curso

Ítalo Barbosa de Souza



São Cristóvão – Sergipe

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

Ítalo Barbosa de Souza

**Dispositivo para apoio a alimentação de pessoas com
limitações motora fina implementado com técnicas de
estabilização mecânica.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador(a): Marco Tulio Chella

São Cristóvão – Sergipe

2020

Dedico a minha família, namorada, amigos, professores e todos que de alguma forma me ajudaram na conclusão deste curso.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela sabedoria, clareza e sustentação durante este difícil e longo trajeto. Agradeço a minha família por todo o apoio financeiro, psicológico e emocional. Agradeço a minha namorada pelo companheirismo nesta reta final de curso. Agradeço por todos os amigos e colegas que me ajudaram durante esses 6 anos de curso. Agradeço aos professores que lecionaram as disciplinas cursadas. Agradeço ao professor Marco Tulio Chella por aceitar me orientar neste TCC.

*O aprimoramento do conhecimento e tecnologia em pró do ser humano é o legado que devemos
construir.*

Resumo

Dentre as possibilidades de atuação dos profissionais da área de TI está o foco no avanço e expansão da inclusão social através da tecnologia assistiva, que é o uso da tecnologia em prol de pessoas que possuem algum tipo de deficiência. Criar novas tecnologias, ferramentas e processos que viabilizem a inclusão social podem e devem ser praticadas, caracterizando evolução social. Visando estes objetivos, este projeto tem como proposta a criação de um protótipo de uma colher estabilizadora para utilização de pessoas que não possuem precisão na movimentação motora fina. Serão utilizados dispositivos que viabilizem a criação do protótipo, levando em consideração a utilidade, eficiência e custo. Os dispositivos utilizados são: acelerômetro CI MPU6050, Micro Servo SG90 e Arduino Nano. Os dispositivos serão acoplados em uma estrutura que seja semelhante a uma colher. O Arduino será configurado de forma que receba informações captadas pelo acelerômetro e execute comandos para o Micro Servo buscando uma melhor estabilização da colher acoplada a estrutura. Serão utilizados dois Micro Servo motores, o primeiro que gira compensando os movimentos de supinação e pronação, e o segundo que compensa os movimentos de flexão e extensão. Já existe um projeto parecido proposto pela Lift Labs, o Liftware, porém no Brasil custa por volta de R\$ 1.599,00. Um dos critérios deste projeto é o baixo custo. Desta forma, possibilita que futuramente possa ser comercializado por um valor muito abaixo do que hoje o produto parecido custa, tornando-o mais acessível a pessoas que necessitem deste produto.

Palavras-chave: Colher estabilizadora; Inclusão Social; Tecnologia Assistiva; MPU6050; MicroServo SG90; Arduino.

Abstract

Among the possibilities of action by IT professionals, there is a focus on advancing and expanding social inclusion through assistive technology, which is the use of technology for the benefit of people who have some kind of difficulty. Creating new technologies, tools and processes that enable social inclusion can and should be practiced, characterizing social evolution. Aiming at these objectives, this project proposes the creation of a model of a stabilizing spoon for use by people who do not have the capacity for fine movement. Devices that enable the creation of the prototype will be used, taking into account utility, efficiency and cost. The devices used are: accelerometer CI MPU6050, Micro Servo SG90 and Arduino Nano. The devices will be coupled in a structure that will be similar to a spoon. The Arduino will be configured so that it receives information captured by the accelerometer and executes commands for the Micro Servo, seeking a better stabilization of the spoon attached to the structure. Two Micro Servo Motors will be used, the first that rotates compensating the movements of supination and pronation, and the second that compensates the movements of flexion and extension. There is already a project approved by Lift Labs, or Liftware, but in Brazil it costs around R\$ 1,599.00. One of the requirements of this project is the low cost. In this way, it allows it to be sold in the future for a value well below today's value, the product is expensive, making it more accessible to people who need this product.

Keywords: Stabilizing spoon; Social Inclusion; Assistive Technology; MPU6050; MicroServo SG90; Arduino.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Busca no Mercado Livre	17
Figura 2 – Arduino Nano	26
Figura 3 – Duty Cycle	27
Figura 4 – MPU6050	28
Figura 5 – I2C	29
Figura 6 – Funcionamento Servo Motor	30
Figura 7 – Micro Servo Motor	31
Figura 8 – Cálculo Ângulo	33
Figura 9 – Supination	34
Figura 10 – Pronation	35
Figura 11 – Extension	35
Figura 12 – Flexion	35
Figura 13 – Protótipo da Colher	37
Figura 14 – Conexão MPU6050 - Arduino	38
Figura 15 – Conexão Micro Servo Motor 1	39
Figura 16 – Conexão Micro Servo 2	39
Figura 17 – Dados antes da Calibragem do Acelerômetro	40
Figura 18 – Dados depois da Calibragem do Acelerômetro	41
Figura 19 – Comparação Dados com Filtro e sem Filtro	43
Figura 20 – Ligação Acelerômetro 2	44
Figura 21 – Projeção dos dois Acelerômetros no Processing	45
Figura 22 – Projeção dos dois Acelerômetros no Processing	45
Figura 23 – Colher Repouso	46
Figura 24 – Supinação Movimento Real	47
Figura 25 – Pronação Movimento Real	47
Figura 26 – Extensão Movimento Real	48
Figura 27 – Flexão Movimento Real	48
Figura 28 – Projeção Supinação 3D	49
Figura 29 – Projeção Pronação 3D	50
Figura 30 – Projeção Extensão 3D	50
Figura 31 – Projeção Flexão 3D	51

Lista de códigos

Código 1 – Codigo C++	40
Código 2 – Codigo C++	41
Código 3 – Codigo C++	42
Código 4 – Codigo C++	42
Código 5 – Codigo C++	43

Lista de abreviaturas e siglas

TI	Tecnologia da Informação
CI	Circuito Integrado
PWM	Pulse Width Modulation
GND	Graduated Neutral Density Filter)
I2C	Inter-Integrated Circuit
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
USB	Universal Serial Bus
IDE	Integrated Development Environment
TDC	Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
TV	Televisão
IDE	Integrated Development Environment
LED	Light Emitting Diode

Lista de símbolos

θ	Letra grega teta
----------	------------------

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Inclusão Social	14
1.1.1	Desenvolvimento Motor Fino	14
1.2	Comprometimento do Movimento Motor Fino	15
1.2.1	TDC	15
1.2.2	Lesão na Medula Espinhal	15
1.2.3	Síndrome de Down	16
1.2.4	Tecnologia Assistiva	16
1.3	Motivação	16
1.4	Objetivos	16
1.4.1	Objetivo Geral	16
1.4.2	Objetivos Específicos	17
2	Revisão Literária	18
2.1	Movimentação Motora	18
2.1.1	Inter-relações entre o desempenho no processo de aprendizagem escolar e o desenvolvimento das capacidades motoras: revisão da literatura (TAVARES; CARDOSO, 2016)	18
2.1.2	Efeitos da Intervenção Motora em uma Criança com Síndrome de Williams (SANTOS et al., 2015)	19
2.2	Tecnologia Assistiva	19
2.2.1	A utilização da tecnologia assistiva por crianças deficientes visuais na educação infantil. (OLIVEIRA; BARROS; MACHADO, 2016)	19
2.2.2	Tecnologia assistiva para a inclusão de pessoas com deficiência na educação profissional. (HEIDRICH et al., 2016)	19
2.2.3	O papel da terapeuta ocupacional na tecnologia assistiva. (PELOSI, 2005)	20
2.2.4	Contribuição ao estudo da captura do movimento aplicado ao design em tecnologia assistiva (SALVALAIO, 2012)	20
2.2.5	Efeitos do Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva para Promover Independência em Atividades de Vida Diária para uma Criança com Paralisia Cerebral (LINO et al., 2020)	21
2.2.6	Acessibilidade, tecnologia assistiva e unidades de informação: articulações à realidade da inclusão (HOTTI; FRAZ, 2020)	21
2.2.7	Expectativas quanto ao uso de tecnologia assistiva. (BITTENCOURT et al., 2016)	22

2.2.8	Adapted Feeding Utensils for People With Parkinson's-Related or Essential Tremor (SABARI et al., 2019)	22
2.2.9	Tremor Severity Estimation Using Liftware Instrumented Eating Utensil (P4.295) (MIOCINOVIC et al., 2016)	22
3	Metodologia	24
3.1	Colher Estabilizadora	24
3.2	Ferramentas Utilizadas	24
3.2.1	Firmware	24
3.2.2	Arduíno	25
3.2.2.1	Arduíno Nano	25
3.2.2.2	Arduíno IDE	25
3.2.2.3	PWM Arduíno	26
3.2.3	Acelerômetro	27
3.2.3.1	MPU6050	27
3.2.3.2	Comunicação I2C	28
3.2.4	Servo Motor	29
3.2.4.1	Micro Servo SG90	30
3.2.5	Processing	30
3.2.6	Blender	31
3.3	Técnicas Utilizadas	31
3.3.1	Filtro Exponencial	31
3.3.2	Calibração Acelerômetro	32
3.3.3	Cálculo Ângulo Acelerômetro	32
3.4	Protótipo	33
3.5	Testes	34
3.5.1	Teste de Dados	34
3.5.2	Teste de Protótipo	34
3.6	Avaliação de Resultados	35
4	Desenvolvimento	36
4.1	Diagrama de Blocos	36
4.2	Protótipo	37
4.3	Procedimento	37
4.3.1	Montagem da estrutura	37
4.3.2	Execução	39
4.3.3	Teste Micro Servo SG90	39
4.3.4	Calibração MPU6050	40
4.3.5	Cálculo Ângulos	41
4.3.6	Controle dos Micro Servos	42

4.3.7	Filtro Exponencial	42
4.3.8	Colher Estabilizadora x Colher Real	44
4.3.9	Projeção 3D	45
5	Resultados	46
5.1	Análise Visual	46
5.1.1	Supinação	47
5.1.2	Pronação	47
5.1.3	Extensão	47
5.1.4	Flexão	48
5.2	Análise em projeção 3D	49
5.2.1	Supinação	49
5.2.2	Pronação	49
5.2.3	Extensão	49
5.2.4	Flexão	50
6	Conclusão	52
6.1	Gastos	52
6.2	Trabalhos Futuros	52
	Referências	54

1

Introdução

O desenvolvimento tecnológico vem em um crescente aprimoramento de técnicas e ferramentas, possibilitando cada vez mais o desenvolvimentos de diversas áreas como: trabalho, educação, saúde, comércio, atividades diárias, inclusão social, etc.

Buscando aprimorar a inclusão social através da tecnologia, é necessário entender os problemas encontrados e buscar soluções para demanda social.

1.1 Inclusão Social

"Inclusão social é o conjunto de meios e ações que combatem a exclusão aos benefícios da vida em sociedade, provocada pelas diferenças de classe social, educação, idade, deficiência, gênero, preconceito social ou preconceitos raciais. Inclusão social é oferecer oportunidades iguais de acesso a bens e serviços a todos."([WIKIPEDIA, 2019a](#))

Dar oportunidade a um indivíduo que possui limitações para exercer determinadas tarefas é um papel social de extrema importância, demonstrando dessa forma empatia social. Uma das deficiências que causam limitações a quem possui é o comprometimento no movimento motor fino. Isso deve por algumas complicações, dentre elas: TDC, lesão na medula espinal, síndrome de Down, dentre outros.

1.1.1 Desenvolvimento Motor Fino

O desenvolvimento motor é de extrema importância, pois é com isso que as crianças são capazes de controlar seu próprio corpo. "O desenvolvimento motor é o processo no qual ocorre uma maturação do sistema nervoso central (SNC) permitindo que tanto receba informações do meio quanto interaja com o meio ambiente. Isso ocorre através de estímulos."([SARILHO, 2015](#))

O desenvolvimento motor é dividido em dois conjuntos:

- "Desenvolvimento motor grosso - define as atividades dos grandes músculos do corpo e relaciona-se com as funções de sustentação da cabeça, sentar, andar, correr."(RESEGUE, 2014)
- "Desenvolvimento motor fino - define as atividades relacionadas aos movimentos de preensão e relaciona-se com as etapas do movimento de pinça. A aquisição da pinça foi um grande marco para nossa espécie, pois foi a partir dela que o ser humano começou a utilizar ferramentas como a caneta, pincel e outros tipos de ferramentas."(RESEGUE, 2014)

Como consequência da ausência do movimento motor fino não é possível manusear objetos com o movimento da pinça das mãos, desta forma, os movimentos exercidos sob as mãos são efetuados pelo cotovelo.

"A articulação do cotovelo é composta por 3 ossos, 3 articulações distintas e vários músculos que a cruzam, saem e/ou chegam até ela, permitindo 4 tipos de movimentos principais (flexão, extensão, pronação, supinação). Ela requer estabilidade e mobilidade. Uma de suas principais funções é permitir e facilitar o alcance da mão em vários planos de movimento no espaço, por exemplo, para se alimentar. Ou seja, a articulação do cotovelo têm uma íntima relação com o punho e a mão. Sendo assim, ao se avaliar um problema de cotovelo, é necessário avaliar-se também as articulações do punho e da mão para ver a liberdade de movimento e se há alguma restrição."(CAIXETA, 2018)

1.2 Comprometimento do Movimento Motor Fino

Alguns fatores levam ao comprometimento do movimento motor fino, pode ser por conta de questões naturais ou de alguma lesão.

1.2.1 TDC

"O diagnóstico de TDC é dado pelo médico quando observa atraso no desenvolvimento das habilidades motoras, grossas e finas, que resultam em dificuldade no desempenho das atividades escolares, de vida diária, no brincar e lazer. Geralmente são crianças inteligentes, com habilidades em muitas áreas, mas que não conseguem desempenhar tarefas motoras com a mesma rapidez e eficiência que os colegas da mesma idade. O TDC não é apenas um problema motor, pois a criança tem dificuldade em socializar com os colegas e, devido às situações frequentes de frustração, acaba por ter baixa autoestima e outras questões comportamentais."(IDEIA, 2018)

1.2.2 Lesão na Medula Espinhal

"Uma lesão na medula espinhal é, como o próprio nome diz, qualquer tipo de dano causado à medula, que é parte fundamental do sistema nervoso central. Essas lesões podem

ocorrer quando há danos às células dentro da medula ou quando os nervos que correm para cima e para baixo na medula são lesionados."([VIDA, 2019](#))

1.2.3 Síndrome de Down

"Síndrome de Down é um distúrbio genético causado quando uma divisão celular anormal resulta em material genético extra do cromossomo 21. A síndrome de Down provoca uma aparência facial distinta, deficiência mental, atrasos no desenvolvimento e pode ser associada a doença cardíaca ou da tireoide."([SANTOS, 2018](#))

1.2.4 Tecnologia Assistiva

"O termo tecnologia assistiva ou tecnologia de apoio agrupa dispositivos, técnicas e processos que podem prover assistência e reabilitação e melhorar a qualidade de vida de pessoas com deficiência. A tecnologia assistiva promove maior independência, permitindo que as pessoas com deficiência executem tarefas que anteriormente não conseguiam ou tinham grande dificuldade em realizar por meio de melhorias ou de mudanças de métodos de interação com a tecnologia necessária para executar estas tarefas. De acordo com o conceito proposto pelo Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) da Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República: tecnologia assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social."([NAZARI; NAZARI; GOMES, 2015](#))

1.3 Motivação

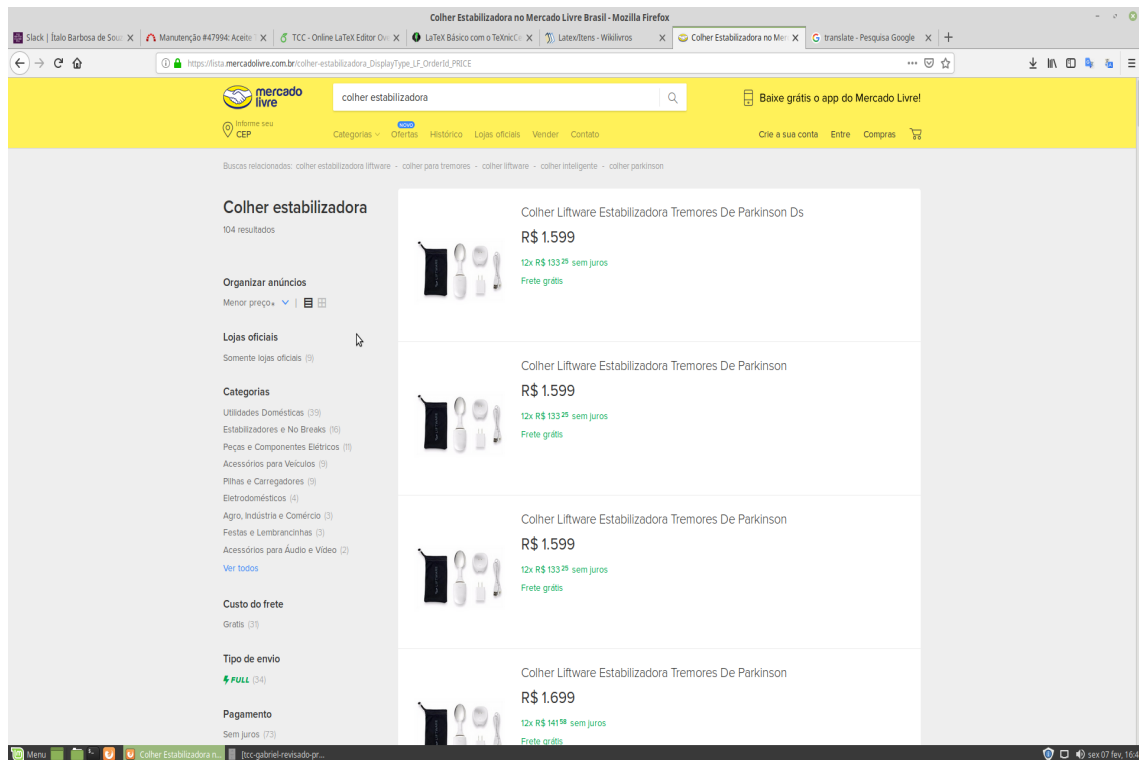
Durante a pesquisa foi encontrado como alternativa de Tecnologia Assistiva para pessoas que possuem comprometimento na movimentação motora fina a colher estabilizadora da Liftware. Realizando buscas em sites de vendas, que realizam entrega no Brasil, foi encontrado o valor médio de R\$ 1.599,00, como mostra a Figura 1. Na ausência de um dispositivo de baixo custo foi motivado a elaboração deste projeto.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de uma colher que possibilite o manuseio por pessoas que possuem a movimentação motora fina comprometida.

Figura 1 – Busca no Mercado Livre



(??)

1.4.2 Objetivos Específicos

- Criar um protótipo de uma colher acoplando dispositivos para movimentação.
- Gravar no Arduino um código de comunicação que capte as informações obtidas através do MPU6050 e ordenar movimentos para os Micro Servo Motores SG90.
- Desenvolver e aplicar técnicas que possibilitem a captação dos dados enviados pelo MPU6050.
- Ordenar movimentos pros Micro Servo de maneira que facilite o manuseio por pessoas que com movimentação motora fina comprometida.
- Analisar as informações obtidas no final de todo o procedimento.
- Desenvolver o projeto tendo como critério o baixo custo.

2

Revisão Literária

Desenvolver projetos requer entender com base teórica do que se trata, o que está sendo desenvolvido e o que se espera dos resultados adquiridos no final do projeto. Com estes estudos foi possível perceber os impactos positivos da aplicação de técnicas e ferramentas que visem auxiliar no movimento motor fino. A Tecnologia Assistiva é uma ferramenta que pode e deve ser explorada cada vez mais no intuito de auxiliar as atividades diárias das pessoas que possuem algum tipo de deficiência. A colher estabilizadora da Liftware, para pessoas que possuem comprometimento no movimento motor fino, se mostra muito eficaz no auxílio nas refeições, porém, possui um alto custo, impossibilitando a acessibilidade a colher.

2.1 Movimentação Motora

2.1.1 Inter-relações entre o desempenho no processo de aprendizagem escolar e o desenvolvimento das capacidades motoras: revisão da literatura (TAVARES; CARDOSO, 2016)

Esta revisão da literatura teve como objetivo identificar as principais relações existentes entre as dificuldades de aprendizagem (DA) e déficits no desenvolvimento motor, assim como analisar os principais déficits motores associados a tal condição. Realizou-se busca eletrônica nas principais bases de dados (Lilacs, Medline/ Pubmed, Bireme, Portal Capes, SciELO), com artigos publicados entre 2006 e 2014, cuja amostra contemplasse crianças em idade escolar, matriculadas na rede de ensino, com histórico de baixo desempenho escolar. Os artigos apontaram evidências da relação entre as DA e os impactos no desenvolvimento motor, visto que crianças com DA geralmente apresentam pobres habilidades motoras em comparação com seus pares com desenvolvimento típico. Conclui-se a necessidade de avaliar não somente as dificuldades específicas e funções neurológicas ligadas à aprendizagem, mas também os aspectos motores envolvidos no desenvolvimento da criança em idade escolar. Tais percepções são eficazes na

elaboração de planos de intervenção preventivos/reabilitadores, reduzindo os impactos de tais dificuldades no processo de aprendizagem, auxiliando assim no melhor desempenho escolar.

2.1.2 Efeitos da Intervenção Motora em uma Criança com Síndrome de Williams (SANTOS et al., 2015)

O objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento motor de uma criança com Síndrome de Williams e verificar os efeitos de um programa de intervenção motora. Trata-se de uma pesquisa descritiva do tipo estudo de caso. Para a avaliação do desenvolvimento motor foram utilizados os testes da Escala de Desenvolvimento Motor - EDM. Essa criança participou de avaliação motora, intervenção motora (32 sessões, duas vezes semanais) e reavaliação motora. As intervenções motoras mostraram avanços positivos nas áreas da motricidade fina, equilíbrio e organização espacial. Verificou-se que o esquema corporal e a organização temporal foram as áreas de maior prejuízo. O quociente motor geral foi classificado como muito inferior o que caracteriza déficit motor. Esses dados justificam a relevância de programas de intervenção motora para essa população.

2.2 Tecnologia Assistiva

2.2.1 A utilização da tecnologia assistiva por crianças deficientes visuais na educação infantil. (OLIVEIRA; BARROS; MACHADO, 2016)

A pesquisa desenvolvida pretendeu auxiliar os profissionais que educam crianças deficientes visuais na busca por melhores alternativas de ensino e de aprendizagem. Dessa forma, conhecer seus alunos deficientes, planejar recursos de tecnologia assistiva, acompanhar sua utilização e avaliar seus efeitos sobre o processo de aprendizagem pode significar um desafio constante e recompensador. O planejamento das atividades aconteceu preferencialmente a partir do conhecimento e da avaliação das potencialidades e das dificuldades de cada criança, para que a utilização dos recursos fosse produtiva e torne-se um elemento efetivo no seu processo de desenvolvimento integral. O envolvimento das famílias também pode constituir-se num importante fator de desenvolvimento e facilitar de maneira considerável a eficiência da utilização da tecnologia assistiva por parte das crianças.

2.2.2 Tecnologia assistiva para a inclusão de pessoas com deficiência na educação profissional. (HEIDRICH et al., 2016)

O artigo apresenta o relato de pesquisa realizada em parceria entre escola de educação profissional e universidade, com o objetivo de maior aproximação dos alunos do ensino médio com a universidade, por meio do desenvolvimento de pesquisa científica. O foco da investigação é a inclusão de pessoas com deficiência na educação profissional, em escolas dos municípios de

Novo Hamburgo e São Leopoldo. Buscou-se, durante a pesquisa, identificar necessidades de adaptações metodológicas ou de materiais pedagógicos para a melhoria dos processos de ensino e de aprendizagem nessa modalidade de ensino, especialmente no que diz respeito à acessibilidade. Por fim, são descritas as características desejáveis para as proposições desenvolvidas, bem como os protótipos de tecnologia assistiva desenvolvidos no âmbito da pesquisa.

Percebeu-se, ao desenvolver este projeto de pesquisa, a grande importância da tecnologia assistiva para a inclusão de pessoas com deficiência na educação profissional. O contato realizado com os professores e os coordenadores permitiu perceber que a inclusão ainda é um processo inicial, e ambos os sujeitos envolvidos estão se apropriando da situação, enfrentando cada novo desafio que surge, pois cada sujeito é único e traz consigo potencialidades, habilidades e necessidades particulares.

2.2.3 O papel da terapeuta ocupacional na tecnologia assistiva. (PELOSI, 2005)

Este trabalho aborda a atuação do terapeuta ocupacional na tecnologia assistiva com ênfase nas áreas de comunicação alternativa e adaptação de acesso ao computador. Discute a necessidade de formação dos terapeutas ocupacionais em nível de graduação e pós-graduação em tecnologia assistiva e apresenta estudos da evolução da formação dos profissionais nos Estados Unidos. Aponta para a especificidade do trabalho do terapeuta ocupacional nas escolas auxiliando o desenvolvimento da escrita alternativa e sugere recursos, estratégias e técnicas para favorecer o acesso ao computador.

2.2.4 Contribuição ao estudo da captura do movimento aplicado ao design em tecnologia assistiva (SALVALAIO, 2012)

O objetivo desta dissertação é contribuir ao estudo da captura do movimento angular por acelerômetro, evidenciando uma base tecnológica ao design de produtos assistivos, na área de Tecnologia Assistiva, especificamente do controle versátil de cadeiras de rodas motorizadas a pessoas com deficiência motora severa. Foram realizados estudos de captura do movimento por sistemas óticos e não óticos, como rastreamento eletromagnético e inercial e realizados ensaios com o sistema inercial Xsens, a luva 5DT, o MindWave de captura das ondas cerebrais, o Flock of Birds de rastreamento magnético e com os controladores de cursor Genius Ring Mouse, Mouse 3Dconnexion, touchpad e touchscreen. Por meio de uma análise funcional foram caracterizados os sinais elétricos de um sistema importado de controle de cadeira de rodas motorizada (alavanca, joystick e módulo de potência). Para a arquitetura do hardware do sistema foram avaliados e selecionados um shield com acelerômetro para Arduino, servomotores e módulos Bluetooth para Arduino. Foram projetados e montados protótipos eletrônicos de um módulo de captura do movimento e protótipos mecânicos de um módulo de interface do controle ao joystick. Geraram-se

alternativas de conceitos como o de plataformas, discos giratórios, rotação de esferas, eixos com rosca sem fim e eixos com buchas deslizantes. Os conceitos potenciais foram aprofundados, modelados e avaliados em 3D. O sistema de eixos com buchas deslizantes demonstrou-se a melhor alternativa à interface e constatou-se que o controle de uma cadeira de rodas motorizada por meio da captura do movimento utilizando acelerômetro é plenamente viável.

2.2.5 Efeitos do Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva para Promover Independência em Atividades de Vida Diária para uma Criança com Paralisia Cerebral (LINO et al., 2020)

O objetivo deste estudo foi avaliar o processo de implementação de recursos de Tecnologia Assistiva para realização da atividade de alimentação junto a uma criança com paralisia cerebral. Foram participantes uma criança de cinco anos com paralisia cerebral distônica e sua mãe. As atividades-alvo foram a alimentação e a intervenção que ocorreram em seu domicílio. Os dados foram coletados pelos seguintes instrumentos: Inventário de Avaliação Pediátrica de Incapacidade; Sistema de Classificação da Função Motora Grossa Ampliado e Revisto; Sistema de Classificação de Habilidade Manual para Crianças com Paralisia Cerebral; roteiro para caracterização do participante; protocolos de registro descritivo e de eventos; e questionário de validação social. Foram realizadas intervenções com três atividades para independência na alimentação: senta-se à mesa, uso do copo e uso do talher. As atividades compuseram o delineamento de linha de base múltipla entre comportamentos em quatro fases: linha de base, intervenção, manutenção e follow up. As sessões foram registradas em vídeo para análise e pontuação do nível de ajuda no protocolo de eventos. Evidenciou-se que o uso de recursos de Tecnologia Assistiva potencializa a autonomia e independência da criança com paralisia cerebral, demonstrando a efetividade do uso do recurso, corroborando com a literatura.

2.2.6 Acessibilidade, tecnologia assistiva e unidades de informação: articulações à realidade da inclusão (HOTTI; FRAZ, 2020)

O objetivo do estudo é refletir sobre acessibilidade e Tecnologia Assistiva, destacando aspectos legislativos pertinentes e observando a necessidade de sensibilizar profissionais das unidades de informação a buscarem uma formação técnico-sistêmica para atender às demandas de uma realidade inclusiva de forma transversal. Trata-se de um estudo de abordagem teórica e exploratória, pois parte da vivência das autoras nas disciplinas cursadas em seus programas de Pós-Graduação (Ciência da Informação e em Educação, Universidade de Brasília - UnB), realização de seminários e reflexões sobre a realidade que a sociedade inclusiva e a acessibilidade apresentam às Unidades de Informação, tendo neste cenário as possibilidades da Tecnologia Assistiva. Os espaços públicos são para todas as pessoas, inclusive indivíduos com deficiência que possuem o direito de ir e vir.

2.2.7 Expectativas quanto ao uso de tecnologia assistiva. (BITTENCOURT et al., 2016)

Este trabalho enfatiza a importância do papel da família na formação dos primeiros vínculos afetivos, no desenvolvimento da aprendizagem e na constituição do sujeito preparando-o para a vida. O objetivo do estudo foi conhecer as características dos familiares de pessoas com comprometimento motor grave e suas expectativas em relação ao uso da tecnologia assistiva. A investigação de caráter qualitativo contou com a participação de mães e avós cuidadoras de crianças com comprometimento motor grave. As expectativas relatadas sobre o uso da tecnologia assistiva apresentada a essas crianças se referem ao desejo de que as mesmas desenvolvam a comunicação e a autonomia, melhorem a autoestima e adquiram habilidades sociais e escolares. No entanto, a insegurança quanto à capacidade das crianças no uso do recurso e a possibilidade de frustração das expectativas familiares também estavam presentes nos relatos.

2.2.8 Adapted Feeding Utensils for People With Parkinson's-Related or Essential Tremor (SABARI et al., 2019)

O objetivo foi avaliar a eficácia de quatro utensílios de alimentação adaptados com participantes com tremor essencial (TE) ou tremor relacionado à doença de Parkinson (DP). Os participantes realizaram uma tarefa de alimentação simulada sob cinco condições: (1) colher padrão (condição de controle), (2) colher ponderada com alça padrão, (3) colher ponderada com alça incorporada, (4) colher giratória e (5) Colher Liftware Steady™, um produto que utiliza a tecnologia de cancelamento de tremor ativo. Os participantes classificaram cada utensílio adaptado em comparação com a colher padrão em relação ao desempenho, facilidade de uso, velocidade, limpeza e estética. Os participantes preferiram a colher Liftware Steady e a colher de peso com alça padrão. O teste de Friedman não revelou diferenças estatisticamente significativas nas classificações entre os dois utensílios preferidos. Os participantes tiveram reações variadas aos diferentes utensílios adaptativos e deram razões diferentes para preferências. Esses achados confirmam a necessidade de pessoas com tremores relacionados ao TE ou à DP terem acesso ao uso experimental dos quatro dispositivos avaliados neste estudo.

2.2.9 Tremor Severity Estimation Using Liftware Instrumented Eating Utensil (P4.295) (MIOCINOVIC et al., 2016)

O objetivo deste projeto foi demonstrar a viabilidade de estimar com precisão a gravidade do tremor clínico usando um utensílio para comer (Liftware, Google Life Sciences) capaz de medir e compensar o tremor da mão. Antecedentes: O tremor essencial (TE) e a doença de Parkinson (DP) causam tremores posturais e de ação que podem limitar severamente a capacidade da pessoa de comer e, assim, diminuir significativamente a qualidade de vida. Na prática clínica atual, o tremor é avaliado na clínica geralmente por escalas de classificação de tremores e menos

frequentemente com análise de tremores. As ferramentas para avaliar os sintomas fora da clínica são praticamente inexistentes. Um utensílio alimentar capaz de estimar a gravidade do tremor permitiria uma avaliação diária e longitudinal do tremor. Treze indivíduos realizaram duas tarefas (5 ensaios movendo alimentos de prato em boca e 5 ensaios transferindo alimentos de prato em prato) usando uma colher (Liftware) com tremor. tecnologia de cancelamento e detecção de movimento (acelerômetro triaxial e giroscópio). Dois neurologistas de distúrbios do movimento, cegos à condição (cancelamento ou desativação de tremores), revisaram segmentos de vídeo randomizados de cada estudo e pontuaram o tremor de acordo com a Escala de Classificação de Tremores de Fahn-Tolosa-Marin (TRS) modificada. Um modelo de aprendizado de máquina que estima a gravidade do tremor usando os recursos dos sinais gravados do acelerômetro e do giroscópio foi treinado nas classificações médias dos neurologistas e avaliado usando uma abordagem de validação cruzada de deixar um assunto para fora. Os dados de movimento registrados de um utensílio alimentar instrumentado podem ser utilizados para obter classificações clínicas precisas da gravidade do tremor, o que permite a avaliação diária do tremor e potencial de resposta ao tratamento.

3

Metodologia

3.1 Colher Estabilizadora

O protótipo a ser desenvolvido será uma colher estabilizadora que possibilite o manuseio de forma independente da colher por pessoas que possuem o movimento motor fino comprometido. A colher deverá se manter estável na posição horizontal mesmo recebendo estímulos de movimentos em outras direções. Desta forma possibilitará o seu uso para o devido fim.

3.2 Ferramentas Utilizadas

Para execução do projeto foram selecionadas ferramentas de suporte ao desenvolvimento do projeto atendendo os seguintes pre-requisitos:

- A ferramenta deve atender a necessidade especificada da tarefa.
- A ferramenta deve ter um baixo custo.

3.2.1 Firmware

"Chama-se firmware o software que comanda um equipamento eletrônico e que não pode (ou não deve) ser alterado pelo usuário final no uso que faz dele. Esses códigos são gravados nos chips dos circuitos integrados que compõem os equipamentos e estão presentes até nos dispositivos mais simples utilizados no dia-a-dia, como o controle remoto da sua TV, que contém um software (firmware) responsável por gerar um pulso codificado de infravermelho para cada botão apertado, que por sua vez é decodificado pela TV, que também possui o seu firmware programado para executar uma função específica ao receber aquele pulso. De uns tempos para cá, há necessidade de adequação dos equipamentos a certas mudanças, frutos da evolução das tecnologias, tem levado os usuários finais a, ocasionalmente, terem de se envolver com uma

atualização de firmware, coisa que em outros tempos era feita apenas em assistências técnicas autorizadas ou por nerds de carteirinha. Não é raro, por exemplo, que um Bluray Player necessite de uma atualização de firmware para adequar-se a alguma novidade implementada em alguns discos."([SAMPAIO, 2011](#))

3.2.2 Arduíno

"O Arduíno é um conjunto de ferramentas de prototipagem eletrônica open source que visa tornar mais fácil a criação de aparelhos eletrônicos. Além de oferecer uma placa controladora, ele possui também um ambiente de desenvolvimento, por isso é considerado uma plataforma e não simplesmente um hardware. Basta ligar a placa ao computador e já é possível escrever códigos para o Arduíno no ambiente de desenvolvimento do software (através da linguagem C/C++). A placa básica do Arduíno possui uma série de sensores, o que permite a integração com outros dispositivos e a interação com outros aparelhos. Ou seja, ele pode funcionar através da sua própria interface ou interagir com outros aplicativos instalados no computador. Isto permite que o desenvolvedor crie tanto gadgets simples como robustos. Além disso, é possível comprar a placa original (com os circuitos “do zero”) ou optar por uma pré-montada, com os circuitos já interligados."([GOMES, 2015](#))

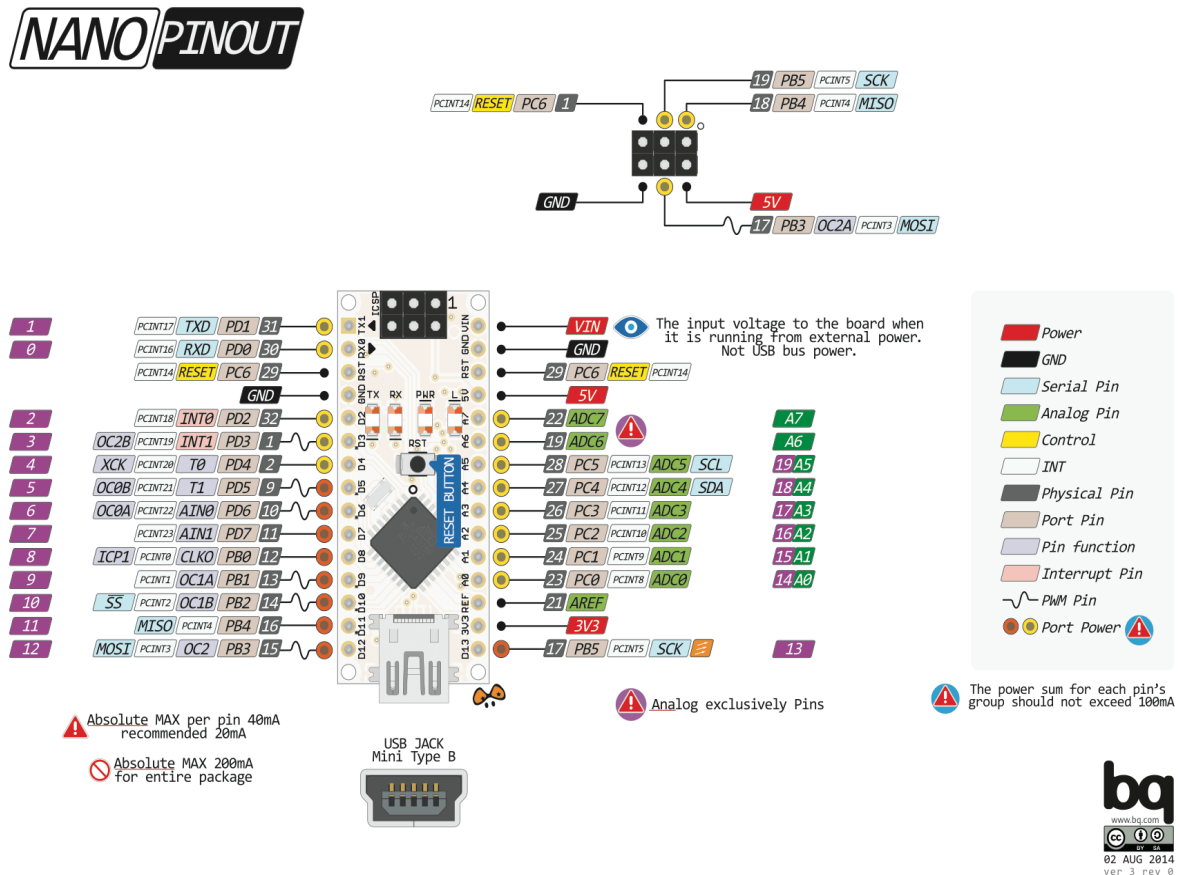
3.2.2.1 Arduíno Nano

"Arduíno Nano a placa ideal para montagem em protoboard por possuir barras de pinos dispostas da forma ideal para encaixe na mesma. Possui dimensões de 45 x 18mm e assim como o Pro Mini, possui duas versões, uma que possui o Atmega168 como microcontrolador e outra versão com o mesmo microcontrolador do Arduino Uno, o Atmega328, ambos em versão smd, foi baseado no Arduino Duemilanove e por esse motivo em questões de especificações é bem parecido com o Arduino Uno, possui 14 pinos digitais, sendo 6 deles também utilizados como PWM, suporta interface i2c e spi, além de 8 pinos analógicos, podem ser fornecidos 40mA de corrente por porta de entrada/saída, sua tensão de operação é 5V e pode ser alimentado em tensões de 6 a 20V, sendo recomendado uma tensão de alimentação entre 7 e 12V, roda a um clock de 16Mhz e possui 16k de memória na versão Atmega168 ou 32k na versão Atmega328, em ambas versões, são utilizados 2k para pelo bootloader, já possui na placa um conversor usb/serial implementado, não sendo necessário de um circuito adicional para sua gravação pela usb do computador."([LIMA, 2016](#))

3.2.2.2 Arduíno IDE

"A IDE do Arduino é um ambiente de desenvolvimento integrado. Em outras palavras, é um espaço onde você tem tudo que precisa para programar sua placa baseada nessa plataforma escrevendo seus códigos de maneira satisfatória, rápida e eficiente. A maioria das coisas que você quiser criar, pode ser feita através desse programa. Na IDE, você tem acesso a destaque

Figura 2 – Arduino Nano



Fonte: (COMPONENTES101, 2018)

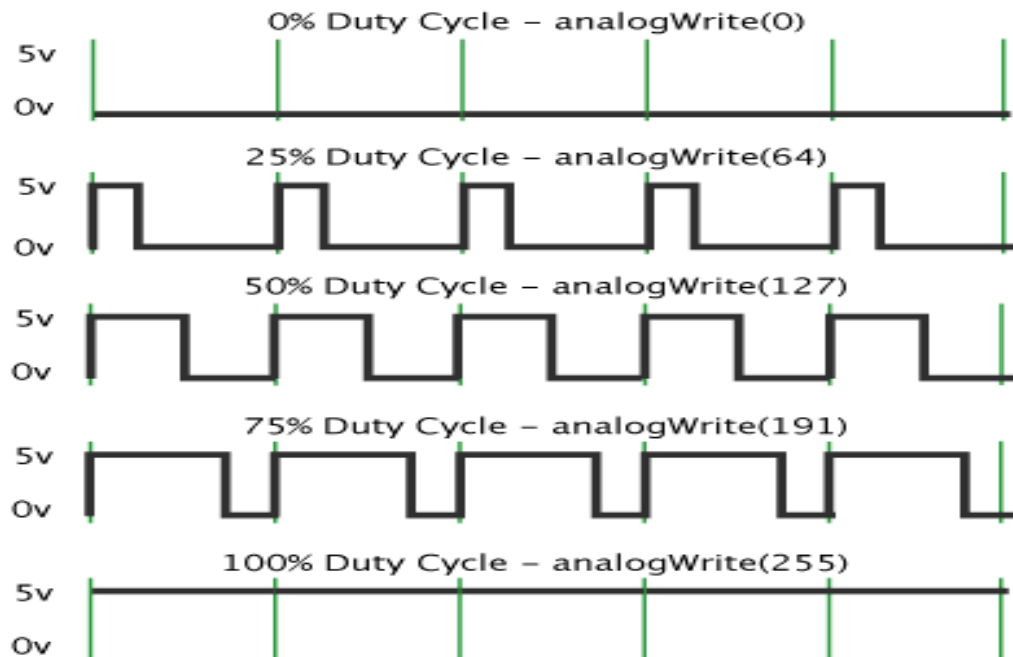
de sintaxe, correção de erros, inclusão de bibliotecas (conjuntos de funções prontas feitas para facilitar seu trabalho), monitor serial (usado para se comunicar com a placa) e envio de código, afinal, pra funcionar na placa você tem que mandar seu programa pra ela."(TORRES, 2013)

3.2.2.3 PWM Arduino

"A modulação por largura de pulso, ou PWM, é uma técnica para obter resultados analógicos com meios digitais. O controle digital é usado para criar uma onda quadrada, um sinal alternado entre ligado e desligado. Esse padrão liga / desliga pode simular tensões entre cheio (5 volts) e desligado (0 volts), alterando a parte do tempo em que o sinal passa versus o tempo que o sinal passa. A duração do "on time" é chamada de largura do pulso. Para obter valores analógicos variados, você altera ou modula essa largura de pulso. Se você repetir esse padrão de ativação / desativação rápido o suficiente com um LED, por exemplo, o resultado é como se o sinal fosse uma tensão constante entre 0 e 5v, controlando o brilho do LED. No gráfico abaixo, as linhas verdes representam um período de tempo regular. Esta duração ou período é o inverso da frequência PWM. Em outras palavras, com a frequência PWM do Arduino em cerca de 500Hz, as linhas verdes medem 2 milissegundos cada. Uma chamada para analogWrite () está

em uma escala de 0 a 255, de modo que `analogWrite(255)` solicite um ciclo de trabalho de 100% (sempre ativado), e `analogWrite(127)` é um ciclo de trabalho de 50% (na metade do tempo) para exemplo."(HIRZEL, 2017)

Figura 3 – Duty Cycle



Fonte: (HIRZEL, 2017)

3.2.3 Acelerômetro

"O acelerômetro é um dispositivo capaz de medir a aceleração de um objeto. Isto é, ele sabe qual é a direção e sentido da aceleração do objeto. Portanto ele e o giroscópio são utilizados nos celulares para detectar quando ele é rotacionado e movimentado e, assim, fazer a tela girar. Muitos outros aparelhos utilizam o acelerômetro para diversas funções, como o controle do wii que eu já expliquei neste post. Existem sensores que utilizam de diferentes propriedades físicas para fazer essas medições. Um tipo de acelerômetro é o piezoelétrico. Dentro desse tipo, existe um cristal que sofre uma força – de acordo com as leis de Newton (Força é igual a massa vezes a aceleração) – quando o objeto se movimenta. Com isso, uma carga elétrica é gerada proporcional à aceleração. E durante a leitura dos sinais, essa carga elétrica é traduzida de volta para aceleração."(FABIO, 2018)

3.2.3.1 MPU6050

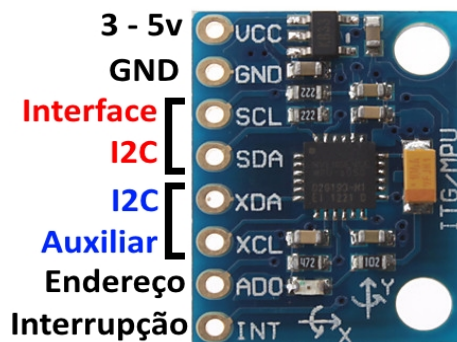
"O MPU 6050 é um acelerômetro e giroscópio capaz de medir a aceleração e rotação nos três eixos coordenados (x,y,z). Ele se comunica por I2C, que é um tipo de comunicação que

utiliza apenas 2 canais (fios). Dentro desses dois canais, é possível conectar uma quantidade muito grande de dispositivo, e cada um utiliza um endereço específico.

Um desses canais (um fio) é responsável por transmitir e receber dados. O outro canal (fio) é responsável por fornecer o clock (controla a velocidade e sincronismo da comunicação). No caso da placa acima, o SCL é o pino do clock e o SDA o pino de transmissão e recepção dos dados. Esse sensor possui um buffer de 1024 bytes que armazena os dados das medições. Se os dados forem medidos, o MPU coloca os valores dentro do buffer e envia um sinal pelo pino INT (interrupção).

Por meio do pino AD0 é possível mudar o endereço da placa, selecionando 0x68 ou 0x69 (essa é a forma como os endereços aparecem). Com isso, é possível conectar dois desses sensores ao mesmo tempo e comunicar com eles sem dar conflito. Pois, senão, os dois teriam o mesmo endereço e assim ocorreriam erros. O padrão é utilizar o endereço 0x68, que é quando o pino AD0 está recebendo sinal de nível baixo (GND). Por fim, os pinos XDA e XCL servem para conectar outro dispositivo que se comunica com I2C e controlá-lo a partir do MPU 6050. Parece complicado fazer isso e é de fato. Portanto, vamos focar só no acelerômetro."(FABIO, 2018)

Figura 4 – MPU6050



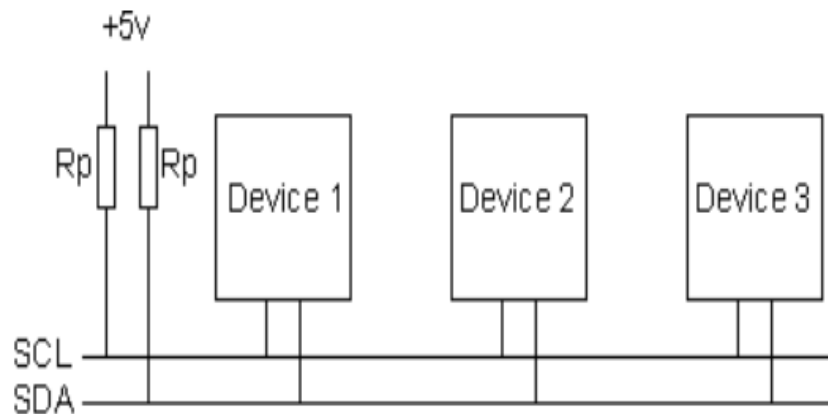
Fonte: (THOMSEN, 2014)

3.2.3.2 Comunicação I2C

"O protocolo I2C descreve o funcionamento de um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios, inventado pela Philips no início da década de 90, este protocolo é muito utilizado para conectar periféricos de baixa velocidade a placas-mãe, microcontroladores e afins. O barramento I2C é composto de dois fios, SDA e SCL, e alimentação (VDD), tipicamente de 3.3V ou 5V."(CAMARA, 2013) Os fios de comunicação possuem pull-ups, como pode ser visto na figura abaixo:

"O protocolo I2C tem dois tipos de dispositivos: Master e Slave. Onde o Master (mestre em inglês), é a unidade de controle responsável por coordenar todos os periféricos (Slaves,

Figura 5 – I2C



Fonte: (ELETRONICS, 2016)

escravos em inglês). A linha SCL é responsável pelo clock do barramento, e a linha SDA pela transmissão de dados.

Como se pode perceber, no estado neutro do barramento I2C são mantidos o valor digital alto em ambas as linhas de comunicação, para se iniciar a comunicação, SDA é trazido para o valor digital baixo pelo mestre. Para escrever dados no barramento, SCL pulsa, e a cada pulso, o valor em SDA é lido como um bit, começando do MSB.

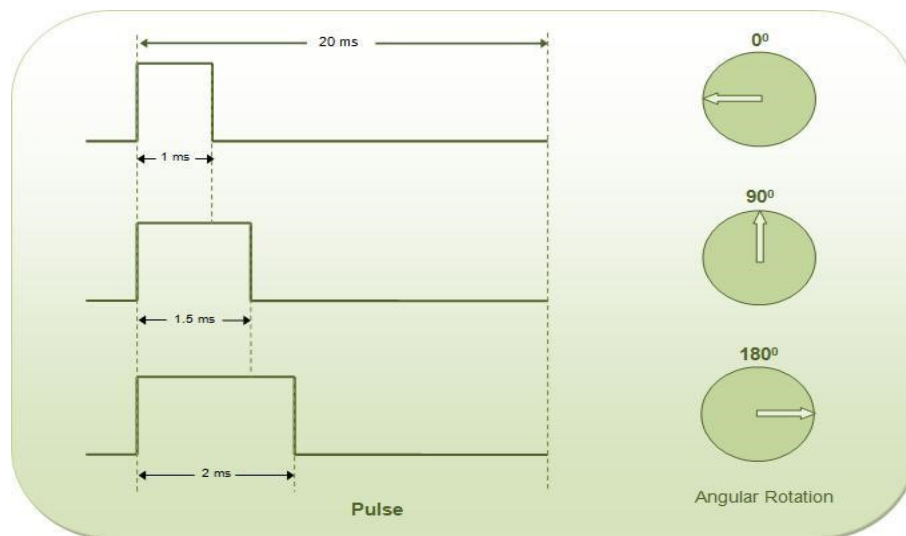
Logo após SDA ser trazida pra baixo, o mestre escreve o endereço do dispositivo que ele deseja se comunicar, por exemplo 0xC0, caso o dispositivo exista, ele responderá como um ACK, um pulso na linha SCL. Então começa a transferência de dados, o mestre escreve o endereço do registrador no escravo que ele deseja ler ou escrever (R/W) e opera então, em sequencia, podendo ler/escrever um ou mais registrador."(CAMARA, 2013)

3.2.4 Servo Motor

"Entre os atuadores temos um motor bem especial. Os servomotores, também chamados de servos, são muito utilizados quando o assunto é robótica. De forma simplificada, um servomotor é um motor na qual podemos controlar sua posição angular através de um sinal PWM.

Dessa forma, um servomotor é um atuador eletromecânico utilizado para posicionar e manter um objeto em uma determinada posição. Para isso, ele conta com um circuito que verifica o sinal de entrada e compara com a posição atual do eixo. Como você pode ver na figura anterior, o ângulo do servomotor é proporcional ao Duty Cycle (tempo que o sinal é positivo) do sinal PWM. Diferentemente dos motores de corrente contínua ou motores de passo que podem girar indefinidamente, o eixo de um servo possui a liberdade de apenas 180°."(MOTA, 2017a)

Figura 6 – Funcionamento Servo Motor



Fonte: (MOTA, 2017b)

3.2.4.1 Micro Servo SG90

Por conta do baixo custo, o micro servo motor utilizado neste projeto foi o Micro Servo SG90. As especificações do Micro Servo SG90 9g são:

- Modelo: SG90.
- Marca do servo: Tower Pro.
- Tensão de operação: 3 a 6VDC.
- Posição (máxima): 180° de giro.
- Material das engrenagens: nylon.
- Temperatura de trabalho: -30° a 60° celsius.
- Torque: 1,2 Kg/cm (4,8VDC) / 1,6 Kg/cm (6VDC).

3.2.5 Processing

"Processing é uma linguagem de programação de código aberto e ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), construído para as artes eletrônicas e comunidades de projetos visuais com o objetivo de ensinar noções básicas de programação de computador em um contexto visual e para servir como base para cadernos eletrônicos. O projeto foi iniciado em 2001 por Casey Reas e Ben Fry, ambos ex-membros do Grupo de Computação do MIT Media Lab. Um dos objetivos do Processing é atuar como uma ferramenta para não-programadores iniciados com a

Figura 7 – Micro Servo Motor



Fonte: (THOMSEN, 2013)

programação, através da satisfação imediata com um retorno visual. A linguagem tem por base as capacidades gráficas da linguagem de programação Java, simplificando características e criar alguns novos."(WIKIPEDIA, 2019b)

3.2.6 Blender

"Blender, também conhecido como blender3d, é um programa de computador de código aberto, desenvolvido pela Blender Foundation, para modelagem, animação, texturização, composição, renderização, e edição de vídeo. O Blender pode ser utilizado em qualquer área que seja necessária a geração de modelos tridimensionais, geração de imagens renderizadas e animação, como aplicações em arquitetura,[15] design industrial, engenharia, animação, e produção de vídeo."(WIKIPEDIA, 2020)

3.3 Técnicas Utilizadas

Ao decorrer do projeto foram utilizadas técnicas para obtenção dos resultados desejados, de forma que permite a continuidade do projeto.

3.3.1 Filtro Exponencial

A ExponentialFilter classe implementa um filtro exponencial linear recursivo simples para o Arduino. Ele fornece uma maneira simples de suavizar medições ruidosas de sensores analógicos sem usar tanta memória quanto um filtro de média móvel.

Sempre que fornecido um novo valor (x_n), o filtro exponencial atualiza um valor suavizado (y_n):

$$y_n = w \cdot x_n + (1 - w) \cdot y_{n-1}$$

Aqui:

- y_n é a saída do filtro em um momento n .

- x_n é o novo valor de entrada em um momento n .
- $y_n - 1$ é o valor de saída anterior do filtro.
- w é o fator de ponderação no intervalo $[0, 100]$.

"Valores altos de w (90, por exemplo) favorecem novos dados sobre dados antigos. A saída responde rapidamente a alterações na entrada, mas não é muito suave. Valores baixos de w (10, por exemplo) favorecem dados antigos em vez de novos. A saída do filtro é suavizada e responde lentamente a alterações (ruidosas ou não) na entrada."(MEGUNOLINK, 2016)

3.3.2 Calibração Acelerômetro

A calibração do MPU6050 é necessária, pois o sensor MPU6050 provavelmente não está 100% na posição horizontal, dado que o sensor sendo soldado no módulo pode ser irregular, adicionando um erro em cada componente. Da mesma forma, quando instalamos o módulo em nosso projeto, ele pode ser desigual, embora à primeira vista notemos que ele está nivelado corretamente.

Para resolver esse problema, é necessário configurar o módulo MPU6050 OFFSETS e, assim, compensar quaisquer erros que podem ocorrer. O programa está basicamente alterando constantemente o deslocamento, tentando eliminar o erro com a medida real desejada, neste caso $a_x = 0$, $a_y = 0$, $a_z = 1g$ e $g_x = 0$, $g_y = 0$, $g_z = 0$.

Inicialmente, compensações atuais foram lidas e espera-se que o usuário envie um caractere h através da porta serial, para ter como parâmetro inicial a posição em que o acelerômetro está. Antes de enviar o caractere h , é necessário colocar o sensor na posição horizontal e evitar movê-lo durante a calibração, esta posição será o nível para medições futuras.

Depois de enviar o caractere h , o programa executa as leituras do acelerômetro e do giroscópio. Usando um filtro, são estabilizadas as leituras e a cada 100 leituras, é verificado se os valores estão próximos dos valores que queremos ler, dependendo disso aumenta ou diminui o valor das compensações. Isso fará com que as leituras filtradas converjam para:

- Aceleração: $p_a x = 0$, $p_a y = 0$, $p_a z = + 16384$
- Velocidade angular: $p_g x = 0$, $p_g y = 0$, $p_g z = 0$

Quando valores próximos aos anteriores são observados no monitor serial, devemos desconectar ou reiniciar nosso Arduino. Com isso, o MPU6050 será configurado com o último deslocamento calculado no programa de calibração.

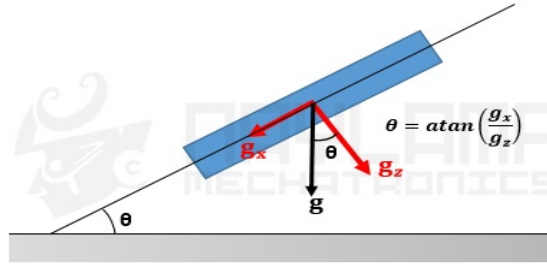
3.3.3 Cálculo Ângulo Acelerômetro

Se for considerado que a única força que atua no sensor é a força da gravidade. Então os valores que obtemos nos componentes do acelerômetro correspondem à gravidade e os ângulos

do resultante serão a inclinação do plano do sensor, uma vez que a gravidade é sempre vertical.

Para entender melhor, deve-se assumir que o acelerômetro está em um plano XZ e é inclinado em um ângulo θ , o referido ângulo é calculado como mostra a Figura 8:

Figura 8 – Cálculo Ângulo



Fonte: (MECHATRONICS, 2016)

A projeção acima é usada para calcular o ângulo em um plano 2D, mas para calcular os ângulos de inclinação em um plano 3D, usamos a Equação 1.

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \right)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} \right)$$

Equação 1

Após aplicação da Equação 1, será possível obter os ângulos de movimento do acelerômetro.

3.4 Protótipo

"Protótipo é o termo usado para se referir ao que foi criado pela primeira vez, servindo de modelo ou molde para futuras produções. No desenvolvimento de produtos, por exemplo, a confecção de protótipos é parte essencial do projeto, consistindo a fase onde são realizados testes práticos com o produto, antes que este possa ser disponibilizado para produção em larga escala e comercialização. Um protótipo não precisa se referir exclusivamente aos produtos físicos, mas também a qualquer tipo de versão preliminar de um sistema ou software de computadores que está em fase de testes, por exemplo. No sentido figurado da palavra protótipo, esta ainda pode significar a exemplificação perfeita do estereótipo de determinado tipo de coisa ou de pessoa."(SIGNIFICADOS, 2017)

3.5 Testes

3.5.1 Teste de Dados

Para testar os dados obtidos através do desenvolvimento do código criado ao decorrer deste projeto será utilizado o monitor serial do Arduino IDE, além do Plotter do próprio Arduino IDE, onde através dele os dados serão representados por gráficos obtendo uma melhor visualização dos dados.

3.5.2 Teste de Protótipo

Os testes no protótipo serão executados através do movimento no punho simulando movimentos reais da utilização de uma colher. Os movimentos ilustrados nas imagens 9, 10, 11 e 12 e as respostas serão definidos da seguinte forma:

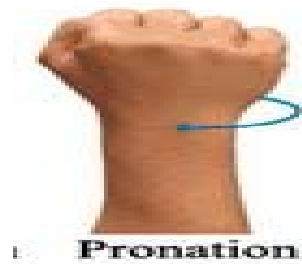
- Movimento: *Supination*
Resposta: Rotação do Micro Servo Motor SG90 2 no sentido horário de forma que a colher fique estabilizada na posição horizontal.
- Movimento: *Pronation*
Resposta: Rotação do Micro Servo Motor SG90 2 no sentido anti-horário de forma que a colher fique estabilizada na posição horizontal.
- Movimento: *Extension*
Resposta: Rotação do Micro Servo Motor SG90 1 no sentido anti-horário de forma que a colher fique estabilizada na posição horizontal.
- Movimento: *Flexion*
Resposta: Rotação do Micro Servo Motor SG90 1 no sentido horário de forma que a colher fique estabilizada na posição horizontal.

Figura 9 – Supination



Fonte: (KARIM, 2014)

Figura 10 – Pronation



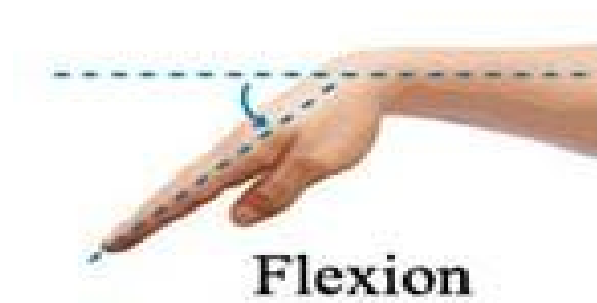
Fonte: (KARIM, 2014)

Figura 11 – Extension



Fonte: (KARIM, 2014)

Figura 12 – Flexion



Fonte: (KARIM, 2014)

3.6 Avaliação de Resultados

A avaliação dos resultados será realizada através da utilização do software Processing repetindo os mesmos movimentos que foram executados nos teste de protótipo, desta forma será possível perceber de forma visual todo o deslocamento da colher.

Será necessário também avaliar visualmente a diferença entre o que seria o deslocamento real da colher e o movimento da colher estabilizada. Para isso será acoplada uma outra colher que simulará o comportamento previsto sem o sistema de estabilização.

4

Desenvolvimento

Após um bom embasamento teórico, é necessário planejar e projetar o desenvolvimento do projeto de forma que seja obtido um resultado que atenda as diretrizes estabelecidas no início deste projeto levando em consideração tanto o qualitativo do produto, quanto o custo final do produto.

4.1 Diagrama de Blocos

Para um melhor entendimento do fluxo do projeto foi desenvolvido um Diagrama de Blocos 1.

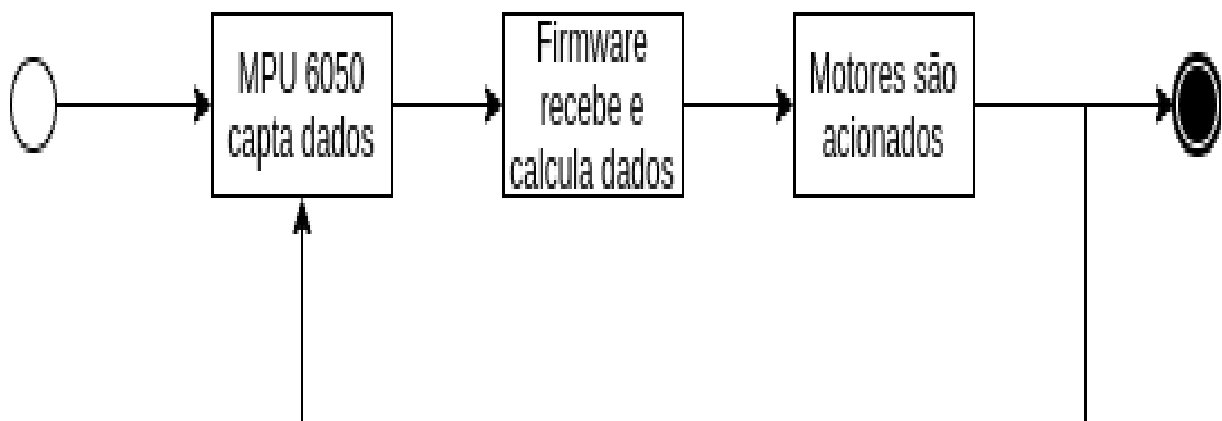


Diagrama de Blocos 1

1. O acelerômetro MPU6050 capta e envia as informações do movimento efetuado.
2. O firmware, gravado no Arduíno, analisa e processa os dados buscando a estabilização da colher acoplada no protótipo. Posteriormente envia comandos para os Servo Motores

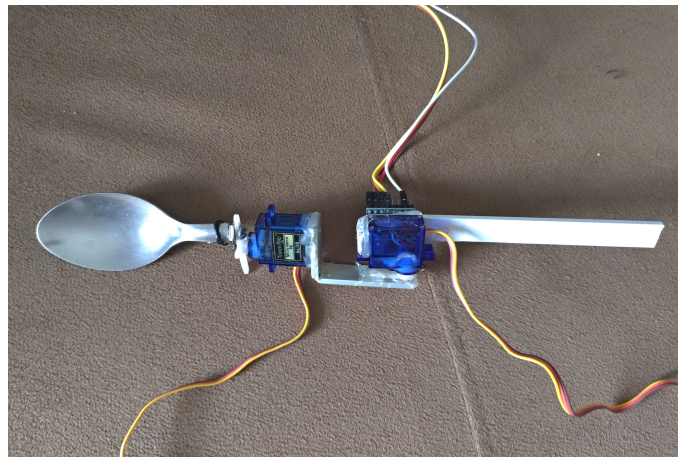
SG90.

3. Os Micro Servo Motores SG90 executam os comandos fornecidos pelo firmware.

4.2 Protótipo

O protótipo desenvolvido está ilustrado na imagem abaixo.

Figura 13 – Protótipo da Colher



Fonte: Autor

Na base de alumínio foi acoplado um Micro Servo Motor SG90 que executa movimentos na posição vertical, também foi acoplado na base de alumínio o acelerômetro MPU6050. O acelerômetro foi acoplado a base, pois, é desta forma que é possível obter as informações dos movimentos executados sob a colher.

Junto ao primeiro Micro Servo Motor SG90 (localizado mais a esquerda da imagem) foi acoplado uma segunda base de alumínio que está acoplada a um segundo Micro Servo Motor SG90 (localizado mais a direita da imagem), o qual, executa movimentos na posição horizontal.

Na extremidade do protótipo, acoplado no segundo Micro Servo Motor SG90, está a colher estabilizada pelo sistema.

4.3 Procedimento

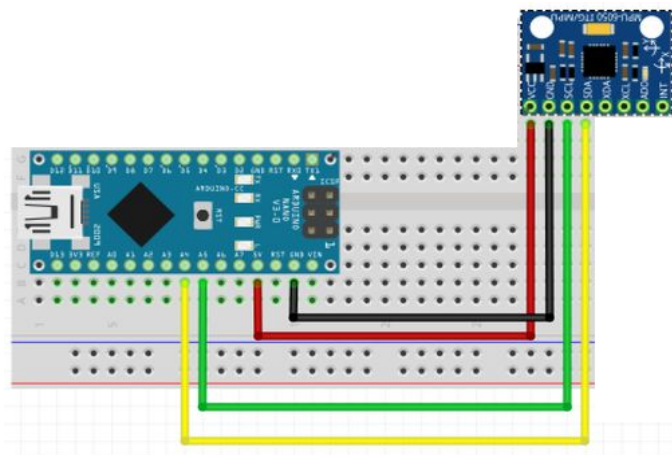
4.3.1 Montagem da estrutura

Primeiramente foi montado o protótipo descrito na seção anterior. Posteriormente foram ligados o acelerômetro MPU6050 e os Micro Servo Motores SG90 ao Arduino.

A ligação do acelerômetro MPU6050 ao Arduino está representada na Figura 14.

- O fio de cor preta é conectado no GND de ambos os componentes.
- O fio de cor vermelha é conectado em 5V do arduíno e no VCC do MPU6050.
- O fio de cor verde está conectado na porta A5 do Arduíno que é onde se encontra a porta SCL. Já no MPU6050 está conectado diretamente na porta SCL.
- O fio de cor amarela está conectado na porta A4 do Arduíno que é onde se encontra a porta SDA. Já no MPU6050 está conectado diretamente na porta SDA.

Figura 14 – Conexão MPU6050 - Arduíno



Fonte: Autor

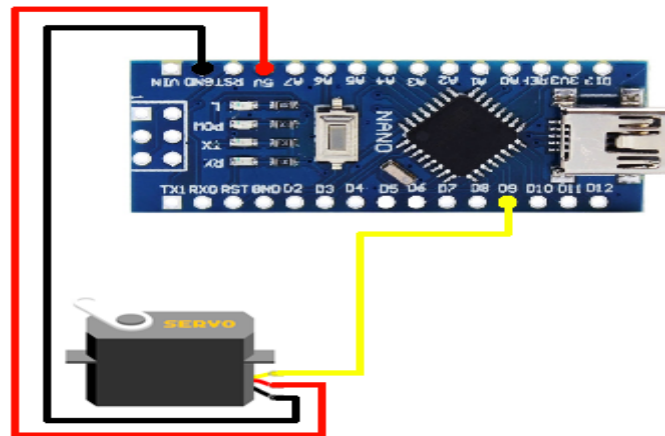
A ligação do primeiro Micro Servo Motor 1 ao Arduíno está representada na Figura 15.

- O fio de cor preta é conectado no GND.
- O fio de cor vermelha é conectado em 5V.
- O fio de cor amarela é conectado na porta D9, pois essa porta possui o PWM do Arduíno que é por volta de 490 Hz.

A ligação do segundo Micro Servo Motor 2 ao Arduíno está presentada na Figura 16.

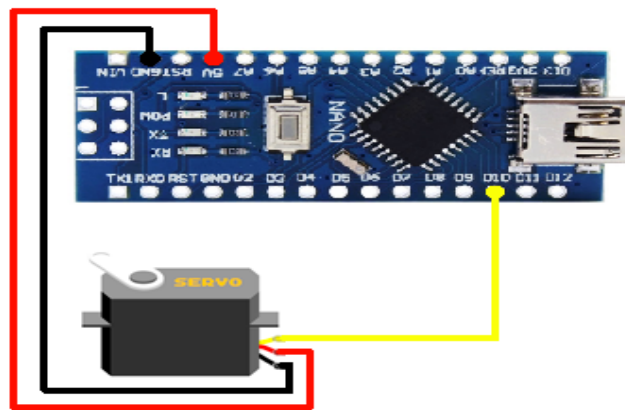
- O fio de cor preta é conectado no GND.
- O fio de cor vermelha é conectado em 5V.
- O fio de cor amarela é conectado na porta D10, pois essa porta possui o PWM do Arduíno que é por volta de 490 Hz.

Figura 15 – Conexão Micro Servo Motor 1



Fonte: Autor

Figura 16 – Conexão Micro Servo 2



Fonte: Autor

Após conectados todos os componentes, foi introduzido um cabo USB mini B no Arduino e conectado ao computador através de uma porta USB, desta forma será possível realizar a comunicação entre o Arduino Nano e o computador através da porta serial utilizando o Arduino IDE.

4.3.2 Execução

A primeira parte do projeto foi testar os componentes e entender seu funcionamento. Para isso foi necessário utilizar o Arduino IDE com códigos a serem gravados no Arduino Nano.

4.3.3 Teste Micro Servo SG90

No Micro Servo Motor SG90 foram enviados comando básicos, onde ele realizava todos os movimentos no sentido horário e anti-horário até os seus limites que vai de a 180°.

O código 1 foi utilizado para o teste do Micro Servo.

Código 1 – Código C++

```

1 void loop(){
2   for(pos = 0; pos < 180; pos++){ //A variável "pos" vai de 0 a 180
3     servo.write(pos); //Escreve "pos" no Servo Motor
4     delay(15); //Intervalo de 15 milissegundos
5   }
6   delay(1000); //Intervalo de 1 segundo
7   for(pos = 180; pos >= 0; pos--){ //A variável "pos" vai de 180 a 0
8     servo.write(pos); //Escreve "pos" no Servo Motor
9     delay(15); //Intervalo de 15 milissegundos
10  }

```

4.3.4 Calibração MPU6050

Antes da utilização do acelerômetro MPU6050 foi necessário realizar a sua calibração, pois se faz necessário uma maior precisão das informações com o posicionamento real do acelerômetro. Para calibrar o acelerômetro foi necessário deixar o acelerômetro estável na posição horizontal alterando os valores buscando aproximar de 0 com exceção do az, pois, recebe a interferência da aceleração da gravidade. Quando os valores das variáveis chegaram próximos dos valores estabelecidos inicialmente, o cabo que conecta o Arduino com o computador foi retirado para que os resultados fossem gravados no acelerômetro daquela forma.

Na Figura 17 é ilustrado a saída do monitor serial do Arduino IDE com os dados captados do acelerômetro com as variáveis ax, ay, az, gx, gy e gz. É possível notar que os valores captados pelo acelerômetro são instáveis, não possibilitando a análise dos dados de forma precisa (o que comprometeria o sistema).

Figura 17 – Dados antes da Calibragem do Acelerômetro

14832	-4084	-7304	-234	128	-127
15032	-4032	-7240	-166	337	-62
14980	-4240	-7048	-334	-164	-165
15088	-4140	-7180	-440	-328	-169
14996	-4208	-7240	-182	-337	-145
14752	-4140	-7128	-235	52	-162
14732	-4136	-6916	-537	406	-2
15340	-3788	-7616	-783	370	-372
15452	-3696	-7392	9	-259	115
15608	-4632	-5896	-211	-1272	-147
14668	-4164	-7276	-308	-12	-88
14968	-3980	-7248	-351	347	-163
15208	-4072	-7220	-267	50	-207
15240	-3980	-7048	-372	-179	-206
14912	-3840	-7156	-139	198	-121

Na Figura 18 é ilustrado a saída de monitor serial do Arduino IDE com os dados captados do acelerômetro com as variáveis ax, ay, az, gx, gy e gz. Observa-se que os dados captados pelo

Código 3 – Código C++

```
1 void loop() {
2   sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az); //Capta dados do acelerometro
3
4   float accel_ang_x=atan(ax/sqrt(pow(ay,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14);
      //Calculo Angulo X
5   float accel_ang_y=atan(ay/sqrt(pow(ax,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14);
      //Calculo Angulo Y
6   delay(10);
7 }
```

4.3.6 Controle dos Micro Servos

Tendo a informação dos ângulos do movimento da base da colher, já torna possível realizar o controle dos Servos Motores de forma que compense o movimento para que a colher possa ficar estabilizada.

O código 4 foi utilizado para controle dos Micro Servo Motores.

Código 4 – Código C++

```
1 void loop() {
2   sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az); //Capta dados do acelerometro
3
4   ang_x=atan(ax/sqrt(pow(ay,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14); //Calculo da
      Equacao 1
5   ang_y=atan(ay/sqrt(pow(ax,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14); //Calculo da
      Equacao 1
6
7   anguloV = 75 + ang_y; //Compensacao angulo vertical
8   myservo_vertical.write(anguloV); //Ordem para Micro Servo 1
9
10  anguloH = 75 - ang_x; //Compensacao angulo horizontal
11  myservo_horizontal.write(anguloH); //Ordem para Micro Servo 1
12
13  delay(50); //Atraso em 50 milissegundos
14 }
```

Porém, visualmente foi observado uma trepidação na colher que não condizia com o objetivo do projeto, o qual, visa suavizar a trepidação exercida pela mão. Essa trepidação ocorrida por conta de rápidos movimentos no Micro Servo Motor 2.

4.3.7 Filtro Exponencial

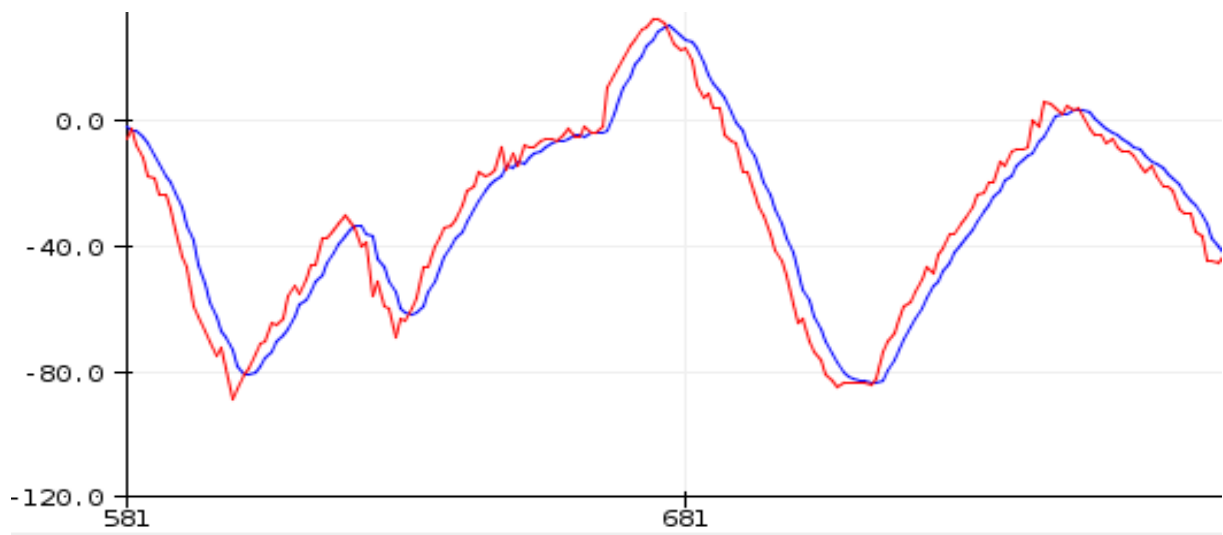
Fazendo-se necessário a anulação da trepidação que ocorria na colher, foi aplicado o filtro exponencial. O código 5 foi utilizado para adição do filtro.

Código 5 – Código C++

```
1 void loop() {  
2   sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);  
3  
4   ang_x=atan(ax/sqrt(pow(ay,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14);  
5   ang_y=atan(ay/sqrt(pow(ax,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14);  
6  
7   ADCFilterX.Filter(ang_x); //Adicao do Filtro no angulo horizontal  
8   ADCFilterY.Filter(ang_y); //Adicao do Filtro no angulo vertical  
9  
10  anguloV = 75 + ADCFilterY.Current();  
11  myservo_vertical.write(anguloV);  
12  
13  anguloH = 75 - ADCFilterX.Current();  
14  myservo_horizontal.write(anguloH);  
15  
16  delay(50);  
17 }
```

Desta forma, foram visualmente obtidos movimentos mais suaves do Servo Motor, de forma que alcance a estabilização requerida na colher como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Comparação Dados com Filtro e sem Filtro



Fonte: Autor

A linha vermelha representa os dados antes da aplicação do filtro, enquanto os dados em azul representa os dados após a aplicação do filtro.

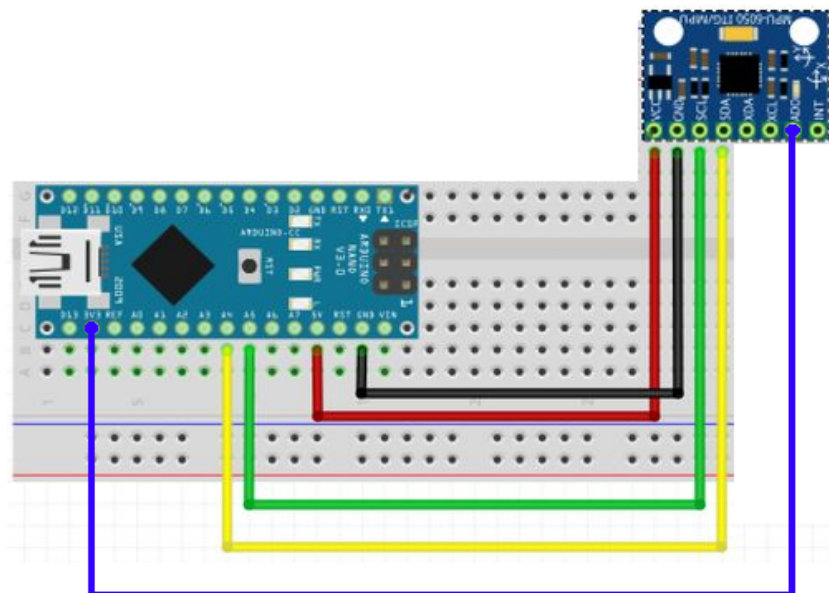
4.3.8 Colher Estabilizadora x Colher Real

Para análise de dados foi adicionado na ponta da colher um outro acelerômetro MPU6050 na colher estabilizadora de forma que fosse possível captar a movimentação que estava ocorrendo sob a colher. Para o arduíno conseguir realizar a leitura de dois MPU6050 ao mesmo tempo é necessário que o pino AD0 do segundo MPU6050 seja conectado ao pino 3.3 V do arduíno, desta forma o segundo acelerômetro estará no endereço 0x69 do I2C enquanto que o primeiro acelerômetro estará no endereço 0x68 do I2C.

O segundo acelerômetro foi conectado da seguinte forma:

- O fio de cor preta é conectado no GND de ambos os componentes.
- O fio de cor vermelha é conectado em 5V do arduíno e no VCC do MPU6050.
- O fio de cor verde está conectado na porta A5 do Arduíno que é onde se encontra a porta SCL. Já no MPU6050 está conectado diretamente na porta SCL.
- O fio de cor amarela está conectado na porta A4 do Arduíno que é onde se encontra a porta SDA. Já no MPU6050 está conectado diretamente na porta SDA.
- O fio de cor azul foi conecta no pino AD0 do MPU6050 e no 3.3 V do arduíno.

Figura 20 – Ligação Acelerômetro 2



Fonte: Autor

4.3.9 Projeção 3D

Após isto foi possível projetar no Processing a movimentação das colheres em tempo real de forma que fosse possível visualizar os movimentos na projeção 3d. Para isso foi necessário gravar no arduíno um código retirado de (CIA, 2015).

As Figuras 21 e 22 ilustram os movimentos executados. Em ambas as figuras, o acelerômetro mais a esquerda da figura representa o acelerômetro que fica na base do da colher, enquanto que o acelerômetro mais a direita representa o acelerômetro acoplado a ponta da colher. Comparando as duas imagens é possível perceber que o acelerômetro localizado na base da colher realizar um movimento de rotação, o acelerômetro localizado na ponta da colher se mantém estável na posição horizontal.

Figura 21 – Projeção dos dois Acelerômetros no Processing

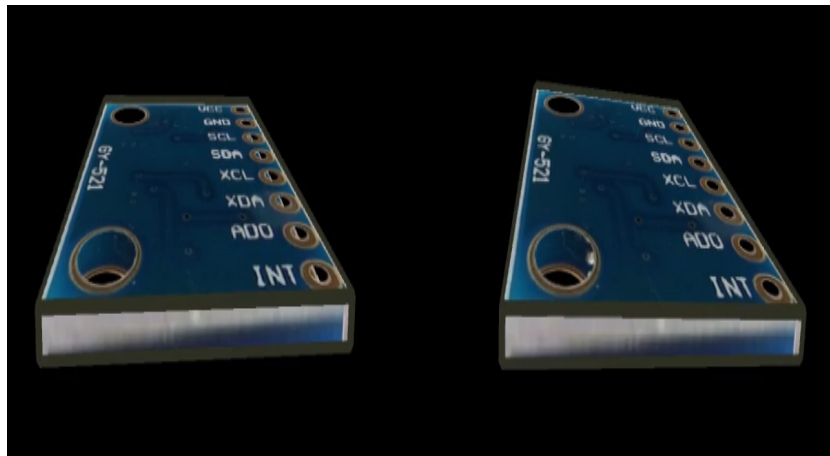
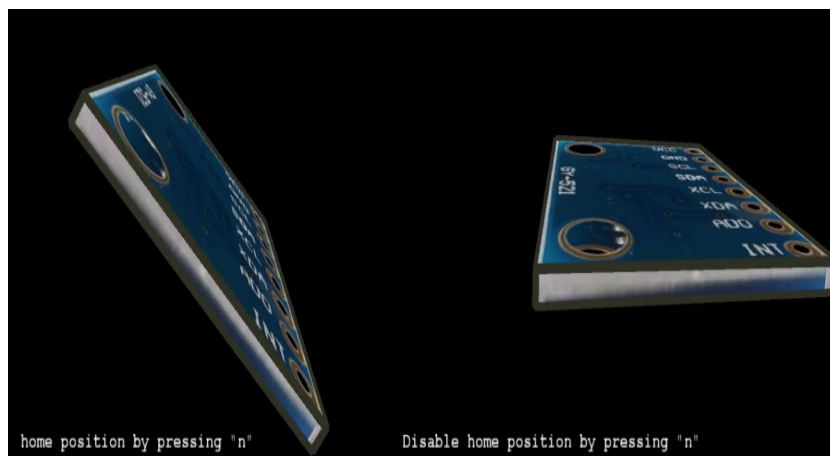


Figura 22 – Projeção dos dois Acelerômetros no Processing



5

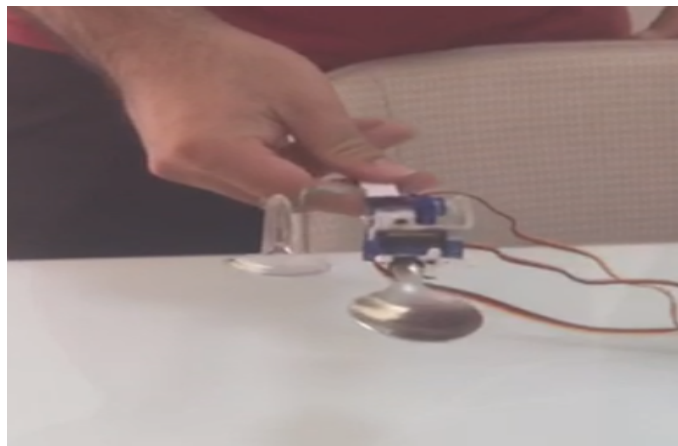
Resultados

Para análise do comportamento da colher estabilizada, foi realizada acoplado uma colher que simulava o movimento real da movimentação submetida ao protótipo, desta forma foi possível ter uma melhor comparação visual. Um segundo método de análise foi realizado através de uma projeção 3D com auxílio da ferramenta Processing. Em ambos os ambientes de análise, foram considerados quatro movimentos para simulação da utilização da colher: supinação, pronação, extensão e flexão. Movimentos estes que atendem as características de quem não possui movimentos motores finos.

5.1 Análise Visual

A projeção visual foi realizada com movimentos reais de uma pessoa e armazenado em vídeos comprovando a eficácia do protótipo. No protótipo foi acoplada uma segunda colher que apresenta o movimento de uma colher comum, onde torna-se possível comparar com o posicionamento da colher estabilizada. A Figura 23 representa o sistema em repouso.

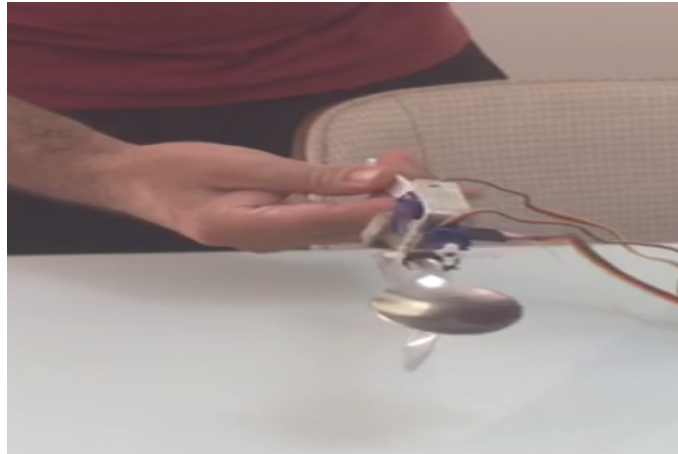
Figura 23 – Colher Repouso



5.1.1 Supinação

Como demonstrado na Figura 24, após o movimento de Supinação, a movimentação real da colher fez o movimento de 90° para direita, enquanto a colher estabilizada permaneceu estável na posição horizontal.

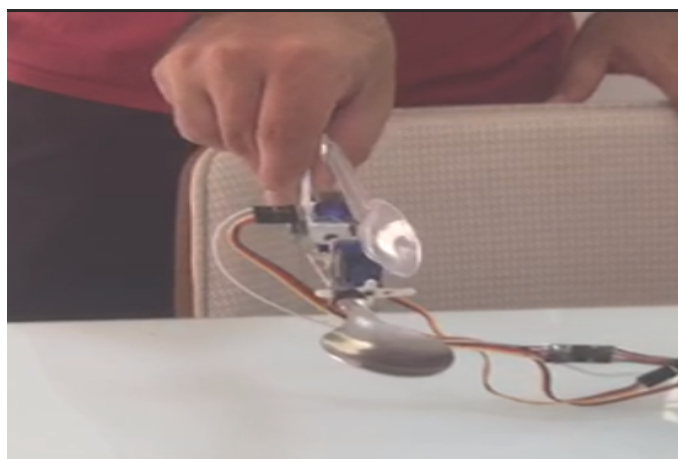
Figura 24 – Supinação Movimento Real



5.1.2 Pronação

Como demonstrado na Figura 25, após o movimento de Pronação, a movimentação real da colher fez o movimento de 90° para esquerda, enquanto a colher estabilizada permaneceu estável na posição horizontal.

Figura 25 – Pronação Movimento Real

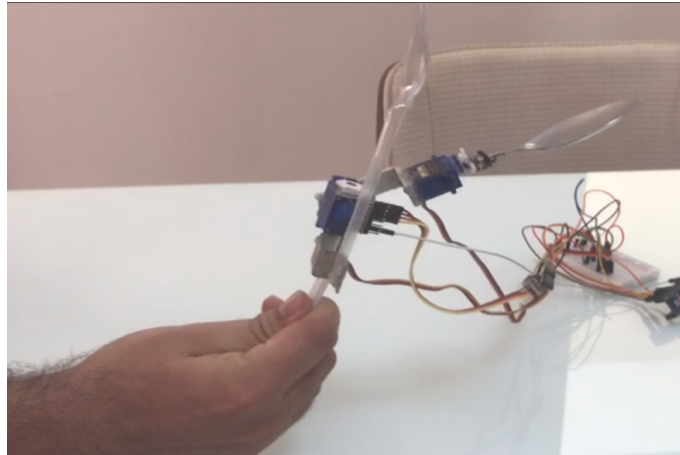


5.1.3 Extensão

Como demonstrado na Figura 26, após o movimento de Extensão, a movimentação real da colher acompanhou o movimento da mão, já a colher estabilizada permaneceu estável com uma leve subida, o que já esperado, pois, acredita-se que realizando esta movimento com certa

intensidade, de fato o usuário queira movimentar a colher neste de sentido. Isto será analisado e comprovado em projetos futuros realizando testes em pessoas que possuem o movimento motor fino comprometido.

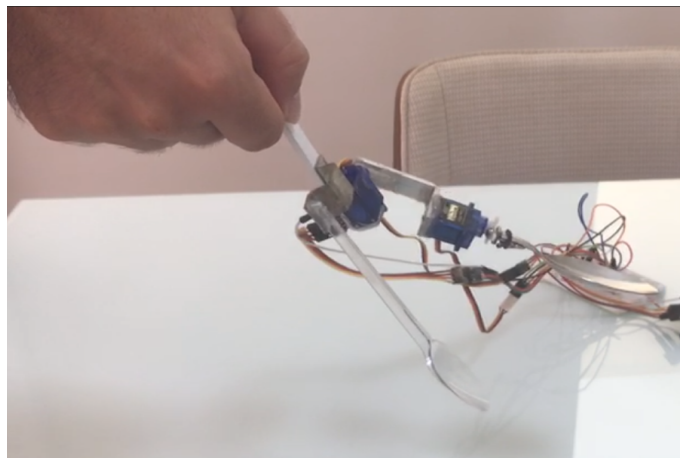
Figura 26 – Extensão Movimento Real



5.1.4 Flexão

Como demonstrado na Figura 27, após o movimento de Flexão, a movimentação real da colher acompanhou o movimento da mão, já a colher estabilizada permaneceu estável com uma leve descida, o que já esperado, pois, acredita-se que realizando esta movimento com certa intensidade, de fato o usuário queira movimentar a colher neste de sentido. Isto será analisado e comprovado em projetos futuros realizando testes em pessoas que possuem o movimento motor fino comprometido.

Figura 27 – Flexão Movimento Real



5.2 Análise em projeção 3D

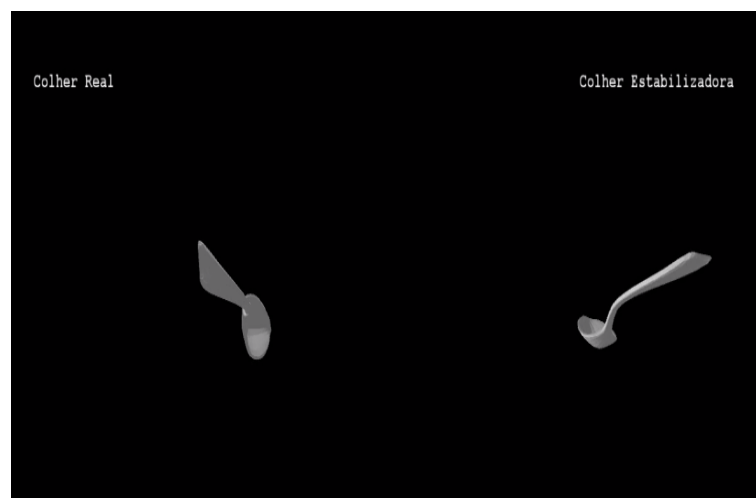
A segunda avaliação foi executada em um ambiente gráfico através da utilização da ferramenta Processing. Para obter as informações vindas da colher estabilizada, foi acrescentado mais um acelerômetro MPU6050 na colher estabilizadora, de modo que fosse possível obter os dados das duas colheres (comum e estabilizadora) simultaneamente.

A projeção possui a réplica dos movimentos das duas colheres que estão acopladas no protótipo. Foi selecionada uma colher no site free3d.com, ajustada na ferramenta Blender de forma que se parecesse o máximo possível com uma colher real. A primeira colher projetada acompanha a condução da colher comum e a segunda colher projetada acompanha a condução da colher estabilizada.

5.2.1 Supinação

Como demonstrado na Figura 28, após o movimento de Supinação, a projeção da colher comum fez o movimento de 90° para direita, enquanto a colher estabilizada permaneceu estável na posição horizontal.

Figura 28 – Projeção Supinação 3D



5.2.2 Pronação

Como demonstrado na Figura 29, após o movimento de Pronação, a projeção da colher comum fez o movimento de 90° para esquerda, enquanto a colher estabilizada permaneceu estável na posição horizontal.

5.2.3 Extensão

Como demonstrado na Figura 30, após o movimento de Extensão, a projeção da colher comum acompanhou o movimento da mão, já a colher estabilizada permaneceu estável com

Figura 29 – Projeção Pronação 3D



uma leve subida, o que já esperado, pois, acredita-se que realizando esta movimento com certa intensidade, de fato o usuário queira movimentar a colher neste de sentido. Isto será analisado e comprovado em projetos futuros realizando testes em pessoas que possuem o movimento motor fino comprometido.

Figura 30 – Projeção Extensão 3D



5.2.4 Flexão

Como demonstrado na Figura 31, após o movimento de Flexão, a projeção da colher comum acompanhou o movimento da mão, já a colher estabilizada permaneceu estável com uma leve descida, o que já esperado, pois, acredita-se que realizando esta movimento com certa intensidade, de fato o usuário queira movimentar a colher neste de sentido. Isto será analisado e comprovado em projetos futuros realizando testes em pessoas que possuem o movimento motor fino comprometido.

Figura 31 – Projeção Flexão 3D



Os resultados obtidos com a projeção visual e com a projeção em 3D foram capazes de demonstrar que a compensação imposta na colher é suficiente para atender o que foi planejado para este protótipo.

6

Conclusão

Com estas simulações foi possível perceber que há uma compensação da colher estabilizadora em relação aos movimentos efetuados, porém será necessário futuramente ser executados testes com pessoas, buscando adaptar da maneira mais adequada aos grupos que utilizarão.

6.1 Gastos

O gasto do projeto foi aceitável, bem abaixo do valor da colher já disponível no mercado, que custa cerca de R\$1.599,00. O gasto total de equipamentos foi de R\$ 53,83.

Esse total está distribuído entre os gastos dos equipamentos da seguinte forma:

- Arduíno Nano - R\$ 14,95
- Micro Servo Motor SG90 - R\$ 8,99 x 2 = R\$ 17,98
- Acelerômetro MPU6050 - R\$ 12,90
- Fios - R\$ 8,00

Até este momento o preço do custo da colher estabilizadora representa apenas 3,37% do valor de mercado da colher estabilizadora disponível no mercado, porém, posteriormente será incluído gasto com impostos, logística, produção, encapsulamento, etc.

6.2 Trabalhos Futuros

Pensando na continuidade do projeto abrindo a possibilidade de que esta colher estabilizadora se torne produto estando acessível, foi estabelecidos as seguintes metas para trabalhos futuros:

- Dar continuidade deste projeto realizando testes com pessoas que possuem o desenvolvimento motor fino comprometido de forma que adapte o protótipo as condições reais de utilização.
- Projetar o encapsulamento do protótipo dentro de uma estrutura que torne possível a utilização.
- Disponibilizar no mercado o produto

Referências

- BITTENCOURT, T. Z. Z. L. C. et al. *EXPECTATIVAS QUANTO AO USO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA*. 2016. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1471-3802.12311>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 22.
- CAIXETA, I. *Prevenção e tratamento da lesão “cotovelo de tenista”*. 2018. Disponível em: <<http://blog.boladetenisdelivery.com/2018/10/24/prevencao-e-tratamento-da-lesao-cotovelo-de-tenista/>>. Citado na página 15.
- CAMARA, R. *PROTOCOLO I2C*. 2013. Disponível em: <<http://www.univasf.edu.br/~romulo.camara/novo/wp-content/uploads/2013/11/Barramento-e-Protocolo-I2C.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- CIA, A. e. *Acelerômetro e Giroscópio MPU6050*. 2015. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/acelerometro-giroscopio-mpu6050-arduino/>>. Citado na página 45.
- COMPONENTES101. *Arduíno Nano*. 2018. Disponível em: <<https://components101.com/microcontrollers/arduino-nano>>. Citado na página 26.
- ELETRONICS, R. *Using the I2C Bus*. 2016. Disponível em: <<https://www.robot-electronics.co.uk/i2c-tutorial>>. Citado na página 29.
- FABIO. *Acelerômetro com o Arduino*. 2018. Disponível em: <<http://mundoprojetado.com.br/acelerometro-com-o-arduino/>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- GOMES, P. C. T. *ENTENDA O QUE É ARDUINO E COMO FUNCIONA A SUA APLICAÇÃO!* 2015. Disponível em: <<https://www.opservices.com.br/o-que-e-o-arduino/>>. Citado na página 25.
- HEIDRICH, R. de O. et al. *TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA A INCLUSÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL*. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistapraksis/article/view/435/371>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 19.
- HIRZEL, T. *PWM*. 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/tutorial/PWM>>. Citado na página 27.
- HOTTI, D. F. M.; FRAZ, J. N. *Acessibilidade, tecnologia assistiva e unidades de informação: articulações à realidade da inclusão*. 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-99362019000400199&lang=pt>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 21.
- IDEIA. *O que é o Transtorno do Desenvolvimento da Coordenação ou TDC?* 2018. Disponível em: <<http://www.eeffto.ufmg.br/ideia/o-que-e-o-transtorno-do-desenvolvimento-da-coordenacao-ou-tdc/>>. Citado na página 15.
- KARIM, D. *Is pronation/supination a movement part of the wrist or the forearm?* 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/post/Is_pronation_supination_a_movement_part_of_the_wrist_or_the_forearm>. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.

- LIMA, I. *Arduino: especificações por modelo*. 2016. Disponível em: <<https://autocorerobotica.blog.br/arduino-especificacoes-por-modelo/>>. Citado na página 25.
- LINO, T. B. et al. *Efeitos do Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva para Promover Independência em Atividades de Vida Diária para uma Criança com Paralisia Cerebral*. 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-65382020000100035&lang=pt>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 21.
- MECHATRONICS, N. *Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio*. 2016. Disponível em: <https://naylampmechatronics.com/blog/45_Tutorial-MPU6050-Aceler%C3%B3metro-y-Giroscopio.html>. Citado na página 33.
- MEGUNOLINK. *EXPONENTIAL FILTER*. 2016. Disponível em: <<https://www.megunolink.com/documentation/arduino-libraries/exponential-filter/>>. Citado na página 32.
- MIOCINOVIC, S. et al. *Tremor Severity Estimation Using Liftware Instrumented Eating Utensil (P4.295)*. 2016. Disponível em: <https://n.neurology.org/content/86/16_Supplement/P4.295.short>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 22.
- MOTA, A. *O que é Servomotor? Controlando um Servo com Arduino*. 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-servomotor/>>. Citado na página 29.
- MOTA, A. *O que é Servomotor? Controlando um Servo com Arduino*. 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-servomotor/>>. Citado na página 30.
- NAZARI, A. C. G.; NAZARI, J.; GOMES, M. A. *TECNOLOGIA ASSISTIVA (TA): do conceito a legislação - discutindo a TA enquanto Política de Educação Inclusiva que contribui na formação e inclusão de pessoas com deficiência*. 2015. Disponível em: <http://www.eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/documentos/tecnologia_assistiva_ta_-_do_conceito_a_legislacao.pdf>. Citado na página 16.
- OLIVEIRA, F. I. W. de; BARROS, D. M. O.; MACHADO, P. H. R. *A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA POR CRIANÇAS DEFICIENTES VISUAIS NA EDUCAÇÃO INFANTIL*. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139895/ISSN2175-7054-2009-6218-6223.pdf?sequence=1>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 19.
- PELOSI, M. B. *O PAPEL DO TERAPEUTA OCUPACIONAL NA TECNOLOGIA ASSISTIVA*. 2005. Disponível em: <<http://www.cadernosdeterapiaocupacional.ufscar.br/index.php/cadernos/article/view/176>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 20.
- RESEGUE, R. *Entenda o desenvolvimento do bebê*. 2014. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/infantil/para-pais/2014/10/entenda-o-desenvolvimento-do-bebe>>. Citado na página 15.
- SABARI, J. et al. *Adapted Feeding Utensils for People With Parkinson's-Related or Essential Tremor*. 2019. Disponível em: <<https://ajot.aota.org/article.aspx?articleid=2728507>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 22.
- SALVALAIO, C. L. *Contribuição ao estudo da captura do movimento aplicado ao design em tecnologia assistiva*. 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/62049>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 20.
- SAMPAIO, T. *O que é firmware no seu smartphone?* 2011. Disponível em: <<http://www.droider.com.br/smartphone/o-que-e-firmware-smartphone.html>>. Citado na página 25.

SANTOS, A. P. M. dos et al. *Efeitos da Intervenção Motora em uma Criança com Síndrome de Williams*. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-65382015000300423&lang=pt>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 19.

SANTOS, V. S. *Síndrome de Down*. 2018. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/doencas/sindrome-de-down.htm>>. Citado na página 16.

SARILHO, F. *A importância do desenvolvimento motor*. 2015. Disponível em: <<https://direcionalescolas.com.br/importancia-desenvolvimento-motor/>>. Citado na página 14.

SIGNIFICADOS. *Significado de Protótipo*. 2017. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/prototipo/>>. Citado na página 33.

TAVARES, A. A.; CARDOSO, A. A. *Inter-relações entre o desempenho no processo de aprendizagem escolar e o desenvolvimento das capacidades motoras: revisão da literatura*. 2016. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/rto/article/view/111098>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 18.

THOMSEN, A. *Micro Servo Motor 9g SG90 com Arduino Uno*. 2013. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/micro-servo-motor-9g-sg90-com-arduino-uno/>>. Citado na página 31.

THOMSEN, A. *Tutorial: Acelerômetro MPU6050 com Arduino*. 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/tutorial-acelerometro-mpu6050-arduino/>>. Citado na página 28.

TORRES, V. *Socorro: o que é a IDE do Arduino?!* 2013. Disponível em: <<http://www.natalnet.br/ura/?p=438>>. Citado na página 26.

VIDA, M. *Lesão na medula espinhal: sintomas, tratamentos e causas*. 2019. Disponível em: <<https://www.minhavidade.com.br/saude/temas/lesao-na-medula-espinhal>>. Citado na página 16.

WIKIPEDIA. *Inclusão social*. 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Inclus%C3%A3o_social>. Citado na página 14.

WIKIPEDIA. *Processing (linguagem de programação)*. 2019. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Processing_\(linguagem_de_programa%C3%A7%C3%A3o\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Processing_(linguagem_de_programa%C3%A7%C3%A3o))>. Citado na página 31.

WIKIPEDIA. *Blender*. 2020. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Blender>>. Citado na página 31.